

GPSS

תכנית לדמוי ספרתי

י. ב. מ.
(ישראל) בע"מ

ספטמבר 1968

GENERAL PURPOSE SIMULATION SYSTEM

תכנית לדמוי ספרתי להפעלה

במערכת י.ב.מ./360

יצחק עמיהוד
מהנדס מערכות בכיר
מטה הנדסת מערכות

ספטמבר 1968

י.ב.מ.
(ישראל) בע"מ

תוכן העניינים

שיטת הדמוי (SIMULATION) כמכשיר לנהול מדעי

נהול מדעי מהו?

המונח "נהול מדעי" עורר מידה רבה של מחלוקת מאז הוטבע בסוף המאה ה-19. הממעיטים בדמותו רואים בו רק אוסף שיטות ודרכי פעולה המפיקים מקסימום תוצרת מן האדם ומן הציוד. התפיסה המודרנית, לעומת זאת, רואה ב"ניהול מדעי" שיטת חשיבה רציונלית המאפשרת קבלת תשובה נכונה לכל בעיות המינהל. תפיסה מודרנית זו קבלה תנופה רבה עם התפתחות "חקר הבצועים" בשלהי מלחמת העולם השניה.

"חקר ביצועים" הנו שיטת חשיבה המניחה קיום מטרה מורכבת אשר לצורך השגתה יש להפעיל גורמים שונים: כח אדם, ציוד, אמצעי מימון וחמרים. השיטה יוצאת מן ההנחה כי מיכלול זה של גורמים אם יישקל נכונה, יצביע בסופו של דבר על דרך אחת ויחידה להשגת המטרה.

הרעיון הטמון ביסודה של שיטת "חקר הבצועים" איננו המצאה חדשה. מאז ומתמיד היה המנהל שוקד על רכוז נתונים, סוקל את הגורמים השונים לפני קבלת החלטה, מנסה לאמוד את כל הגורמים העלולים להשפיע על החלטתו ובמיוחד - מעריך את הסיכון הכרוך בכל החלטה שהיא.

ברור היה תמיד שפתרון טוב ביותר לכל מטרה ישנו רק אחד, ופתרון זה יושג אך ורק אם יובאו בחשבון כל הגורמים המשפיעים על המטרה וישקלו נכונה יחסי הגומלין ביניהם.

עם הגידול העצום בכמות הנתונים וגוונם, קשה יותר ויותר להקיף במחשבה את כל האפשרויות כדי להגיע למסקנה שקולה, ויותר מזה - מהי הדרך לבדוק את השקולים ולקבוע אם ההחלטה נכונה או לא?

לשם קביעה זו יש לקבוע קריטריונים להחלטה. כלומר - להפוך את המינהל, הנראה מטבעו כפעולה שכלית אינטואיטיבית, למדע רציונלי מדוייק. השאלות הנשאלות עתה אינן "האם" אלא "מה", "כמה" וכד'. הצעד הראשון היה הפיכת הבעיות האיכותיות לבעיות כמותיות. הצעד השני הוא בנית מכשירים מתמטיים מתאימים לטפול בגורמים השונים הפועלים במערכת וגלוי יחסי הגומלין שביניהם. כלים מתמטיים שפותחו לצורך זה הם תכנות ליניארי, תורת המשחקים, תורת התורים והסטטיסטיקה לענפיה השונים.

בפתרון כל בעיה שהיא בשיטות חקר בצועים ישנם מספר צעדים בסיסיים והם:

- הגדרת המטרה
- קביעת הגורמים הפועלים במערכת והמשפיעים על השגת המטרה,
- בנית מודל מתמטי המבטא את המצב הנתון ומייצג את השפעות הגומלין בין הגורמים
- הפקת הפתרון מן המודל
- בחינת המודל לאור הפתרון שהופק ממנו
- הקמת מנגנון בקורת למודל
- הרצת המודל בעבודה למעשה

צעדים אלו מבטיחים התקדמות לקראת פתרון מוצלח. יש להשקיע מאמץ בפתרון כל שלב ואפילו הוא נראה פשוט כמו למשל שלב "הגדרת המטרה". לעיתים קרובות יתברר שהגדרה נכונה של המטרה כוללת את מרבית הפתרון.

הבעיה העומדת לפתרון עלולה להיות קשה מדי לבטוי מתמטי פשוט. כמות הגורמים המשפיעים על המודל עלולה להיות גדולה מאד ויחסי הגומלין ביניהם סבוכים במדה כזו שפשוט אי אפשר להציג מודל מתמטי ואין כל אפשרות להצביע על דרך סיסטמטית לפתרון בדרך זו. הפתרון יכול להיות רק ע"י הצגת פתרון אמפירי.

פתרון אמפירי במובנו הפשוט הינו "הרצת המודל באופן מעשי", כלומר - בנית מערכת אמיתית והרצתה. אולם ברור שזו לא דרך הפתרון הרצויה, מכיון שכל מטרתנו להשיג את פתרון הבעיה מבלי לקיים למעשה את המערכת שבה נוצרת הבעיה הדורשת פתרון. במלים אחרות: אנו רוצים "לבצע דברים בלי לעשות למעשה מאומה". כדי לפתור בעיות בצורה זו פתחו את מושג הדמוי (Simulation). הדמוי הנו חקוי של התנהגות מערכת באמצעות מודל.

הדמוי עוסק אם כן בתכנון ובנין מודלים, עריכת נסיונות במודלים אלו והסקת מסקנות על התנהגות המערכות האמיתיות לפיהן נבנה המודל. החלוקה הבסיסית בין המודלים היא:

- מודלים פיסיים (שולחן חול, מנהרת רוח, דגם וכיו"ב.)
- מודלים תאורטיים מתמטיים

אפשר למנות שלוש סיבות לשמוש בשיטת הדמוי:-

א. מחיר - הצגת הבעיה בשיטת הדימוי זולה מהקמת מערכת מעשית
ב. נסויים - בעזרת מערכת הדמוי אפשר לערוך נסויים שונים במודל, מה שאינו אפשרי או מעשי במערכת מעשית.
ג. מדידה - המודל מאפשר לנו לערוך מדידות ובדיקות שונות שאין אפשר לבצע במקרים רבים במערכת.אמיתית.

המודל המתמטי הנו אוסף של משואות פרמטריות המתארות מערכות או בעיה מעשית מסוימת. השנויים שמתיחסים למערכת או הבעיה המקורית מוצאים את בטויים במודל המתמטי בשנויים שונים במשואות המתיחסות אליו.

למודל המתמטי מספר יתרונות על פני המודל המעשי: הוא ניתן לתאור מדוייק יותר, הוא מציג בצורה ברורה וחד-משמעית את הקשרים שבין הגורמים השונים המרכיבים את המודל, המודל נוח להרכבה ולשנויים, המודל מאפשר שימוש בטכניקות מתמטיות מתקדמות לפתרון.

בשנים האחרונות קיים היה הכרח לבצע דמוי למערכות מסובכות יותר ויותר. הטכניקות המתמטיות הרגילות היו סבוכות ולא יכלו להדביק את הדרישות. גם השקעת הזמן בפתרון המודלים היתה רבה במדה כזו שהעמידה בספק את האפשרות להגיע אי פעם לפתרון ידני. בשלב זה נכנס לתמונה המחשב האלקטרוני. תכונותיו המיוחדות והאפשרויות הגלומות בו לטפול בכמות עצומה של משתנים בפרק זמן קצר, הביאו לכתיבת תכניות מחשב לפתרון בעיות של דמוי. חלק מהתכניות נכתבו לפתרון בעיות מיוחדות, כמו למשל דמוי של נהול מלאי, וחלקן נכתבו בצורה כזו שתאפשר דמוי של מודלים שונים ומגוונים.

קיימות שתי שיטות דמוי המשמשות למטרות שונות:

א. דמוי אנלוגי

ב. דמוי ספרתי

דוגמאות לדמוי האנלוגי:

סרגל חישוב	–	מספרים מתוארים ע"י מרחקים
הדרודינמיקה	–	זרימת מים מתוארת ע"י זרימת חשמל
אוירונוטיקה	–	מנהרות רוח

מערכת הדמוי האנלוגי פותרת למעשה משוואות דיפרנציאליות.

<u>דמוי ספרתי</u>

שיטת הדמוי הספרתי היא שיטה לחיקוי פעולתם של מתקנים או מערכות מסובכים המשרתים מספר רב של "צרכנים". חקוי זה נעשה בדרך כלל ע"י מחשב אלקטרוני על סמך תאור סטטיסטי של התנהגות מרכיבי המתקן או המערכת, ושל זרימת ה"צרכנים" בתוכם.

התכנית המרכזית במחשבי י.ב.מ. לבצוע תהליכי דמוי ספרתי היא
תכנית - GPSS - General Purpose Simulation System.

תכנית הדמוי במחשב מאפשרת לנסות את המודל בשנויים פעמים רבות תוך פרק זמן קצר יחסית. ע"י יחוס דרגות חשיבות שונות לגורם מסויים, הזנחת גורם זה או אחר, ג.ינויים בגישה לגורמים אחרים - ניתן להסיק מסקנה בדוקה וסופית לגבי חשיבותם האמיתית של הגורמים ולהחליט על המדיניות הטובה ביותר לאור התוצאה.

איך יפעל המחשב לפתרון דמוי של תהליך ייצור?

המחשב יקבל נתונים על קצב קבלת הזמנות במפעל, עדיפות ההזמנות, מספר המכונות והעובדים, זמן יצור לכל פריט, בלאי ופחת של הציוד קלקולים של מכונות וזמן דרוש לתיקון וכדומה. כל הזמנה המגיעה למפעל עוברת את תהליך הייצור מתחילתו ועד סופו, במחלקות שונות ובמכונות שונות. נוכל לעקוב בעזרת המודל אחר תנועת ההזמנה במפעל ע"י קבלת אינפורמציה על זמני הצפיה בתור בכל מחלקה וליד כל מכונה והזמן אשר נדרש לעבוד בכל מכונה. זוהי דוגמה פשוטה אולם נקל לשער מה גדול הסבך כאשר לוקחים בחשבון שמופע ההזמנות למפעל אינו קבוע, זמני העבוד בכל מכונה ובכל מחלקה נעים באופן אקראי סביב ממוצע, חלים קלקולים במכונות באופן בלתי צפוי וזמן התקון גם הוא אינו קבוע, להזמנות יש עדיפות העלולה להשתנות גם כשהן בתהליך, פועלים נעדרים מעבודתם באופן צפוי ובלתי צפוי ופועלים אחרים ממלאים או אינם ממלאים את מקומם, ועוד ועוד גורמים שונים ומגוונים.

הצגת מודל דורשת נתונים שונים, בחלקם הגדול סטטיסטיים לגבי ההתנהגות למעשה או בצפיה להתנהגות של כל גורם במודל (זמן עבוד, העדרות פועלים, מופע הזמנות ועוד). חשיבות הכנתם של הנתונים רבה מכיון שרק מהימנותם תבטיח את ערכן של התוצאות שתתקבלנה.

יש לחזור ולהדגיש שהדמוי הינו מכשיר, או כלי עזר, בנתוח מצב מוגדר. הדמוי אינו עורך אופטימיזציה של מצב כלשהוא, וגם אינו בוחר בין אלטרנטיבות (כמו שעושה תכנות ליניארי למשל).
הפתרון של המערכת יעשה בשיטת "נסה-ושגה" (Trial - and - error):
נציג מודל של מצב או מערכת כלשהם, נריץ את המודל בעזרת תכנית הדמוי במחשב, ננתח את התוצאות ונסיק מסקנות לגבי גורמים שונים ויחסי הגומלין ביניהם. נתקן את המודל כפי שנמצא לנכון, נריץ שוב ונבחן שוב את התוצאות. נחזור על תהליך זה עד שנקבל את התוצאה אשר תניח את דעתנו, כמו לדוגמה זמן מקסימלי של ההזמנה בתהליך.

תהליך הדמוי יכול להצביע באופן ברור על השפעתם של גורמים שונים על התנהגות המערכת. למשל, השפעת העדרות העובדים על בטלת מכונות וכתוצאה מכך - על הזמן המקסימלי של הטפול בהזמנה. ומצד שני - אי אפשר לגלות נקודות תורפה ו"צוארי-בקבוק" בתפעול המערכת. המנהל יכול להחליט על תקון המצב בנושא זה, להעריך את המצב לאחר השנויים ולבדוק את ההשלכה של החלטתו החדשה על תהליכי הייצור במפעלו.

מהימנות התוצאות המתקבלות בתהליך הדמוי תלויה באופן ישיר באיכותו של המודל ובמהימנותם של הנתונים המוזנים לו. רק הם יכולים להבטיח שהמנהל יוכל לבחון נכוחה את שקוליו, לתקן את החלטותיו ולהוציא מסקנות נכונות ככל האפשר.

לסיום פרק המבוא נציין לדוגמא מספר שטחים בהם משתמשים בשיטת הדמוי לפתרון בעיות שונות:

1. <u>נהול מלאי</u>

קצב השתנות המלאי בהתחשב בגורמים שונים כגון השתנות צריכה, תקופת הספקה, עונות שנה, בלאי ופחת יכול להמדד בעזרת תכנית דמוי. תכנית הדמוי יכולה להצביע על ההשלכות של חוסר מלאי, למשל על תגובות הצרכנים (אם קבענו במודל יחס גומלין לצורך זה - רמת שרות). כמו כן יכול המודל להצביע על עודפים צפויים או חוסר מלאי כתוצאה ממדיניות שונה לחדוש המלאי. נתוח התוצאות, שנוי המודל והרצה מחודשת הם הדרך הבדוקה כדי להגיע למטרה המבוקשת.

2. <u>מחקר שווקים</u>

מפעל המנסה לשווק את תוצרתו יכול לדמות את השוק הקיים על הכוחות הפועלים בו ויחסי הגומלין ביניהם כדי לקבל נתונים אשר יאפשרו לו לקבוע את מדיניות השווק.

נתונים חשובים למודל זה יהיו הרגלי הצריכה של הקונים, השפעה צפויה של מתחרים, השפעת הוזלת מחירים ופרסומת, השפעה של מספר דוכני מכירה ומיקומם, ועוד.

המפעל יוכל לתכנן את צורת השווק והפרסומת, מדיניות מחירים, תכנון אריזה וגורמים שונים אחרים העלולים להשפיע על הצלחת השווק.

3. <u>מופע לקוחות בבנק</u>

בעזרת שיטות הדמוי ניתן לתכנן את מספר האשנבים הדרושים לשרות הקהל ואת שיטות עבודתם של האשנבאים, במטרה לקצר ככל האפשר את שהיתו או את עכובו של הלקוח.

4. <u>תכנון מערך תקשורת עם מחשב</u>

מחקר מעמיק של פעולת תחנות תקשורת, מערכת המחשב ותכנית העבוד יכולים לספק נתונים למודל אשר יאפשר לקבוע את העומס הצפוי במערכת, ולהצביע על דרכים לאיזונה.

תכניות דמוי למחשבים

כיום מכירים מספר שפות דמוי, מסוג Problem Oriented, שהן שפות כלליות שאפשר להתאימן לבעיות שונות. יש מספר רב נוסף של שפות דמוי המותאמות לבעיות מיוחדות כמו למשל דמוי של מערכות מלאי.

1. GPSS - השפה העקרית והחשובה במחשבי י.ב.מ. לדמוי ספרתי.
שפה זו פותחה עבור המחשבים מסדרת 7040 ו-7090, ושוכתבה והורחבה לשמוש במערכות 360 הפועלות עם DOS ו- OS .
השפה מוגדרת כבנויה מבלוקים ומותאמת ל"תנועות", ומטפלת ביעילות רבה בבעיות תורים ועדיפויות שרות.

2. SIMSCRIPT - השפה דומה במבנה לפורטרן ומוגדרת כמותאמת ל"מאורעות".
שפה זו דורשת מאמץ תכנותי גבוה בהרבה מאשר GPSS.

3. DYNAMO - שפה זו מיועדת לדמוי תהליכים רציפים, בנגוד למערכות המשתנות בפרקי זמן קבועים. פתרון המודל הינו פתרון של מערכות משואות דיפרנציאליות.

4. CSMP - Continuous System Modeling Program.
שפה שפותחה ע"י י.ב.מ. לפתרון בעיות של דמוי אנלוגי במחשב 360.
כל בעיה ומודל מועתקים לסדרה של משואות דיפרנציאליות הנמסרות למחשב לפתרון.
שפה פשוטה יותר שהיא חקוי לפעולתו של מחשב אנלוגי פותחה בשם זהה עבור המחשב 1130.

5. SIMULA - שפה זו רואה את המערכות כצרוף של אירועים המתבצעים במקביל.
שפת דמוי זו היא פתוח של ALGOL לשם פתרון תהליכי דמוי.

מבנה כללי של .G.P.S.S

כ ל ל י

G.P.S.S. היא שפה כללית לדמוי ספרתי, בלתי תלויה במחשב. המשתמש בה אינו צריך להיות בקיא בשיטות תכנות או בתפעול המחשב בו מורצת התכנית. עם זאת, רצויה ידיעה מעטה בהכנת תרשימי זרימה. בשפת הדמוי GPSS נוח וקל לתאר את הבעיה, לנפות משגיאות ולעדכן. המבנה המודולרי שלה והעובדה שהשפה היא "תאורית" מקילים על הקשר בין המשתמשים בה.

ה ג ד ר ה

שפת הדמוי GPSS מתאימה במיוחד למערכות שניתן לתארן ע"י יחידות תנועה" הנעות במערכת של יחידות טפול במשך זמן.

שפת הדמוי גמישה ומאפשרת למשתמש לתאר במדה רבה מאד של חקוי את המערכת האמיתית. יחידת התנועה הינה כל מאורע המתרחש בהפרשי זמן. התנועה יכולה להיות משהו מוחשי כמו מכונית הנעה במערכת תחבורה, או פריט הנמסר לתקון בבית המלאכה. התנועה יכולה להיות משהו מופשט כמו קלקול של מכונה המופיע בבית המלאכה ומשתק פעולת מכונות למשך זמן מסויים, או העדרותו של אשנבאי במערכת הבנק.

יחידות הטפול הן מתקני ציוד או מאגרים הנותנים שרות ליחידות התנועה. אפשר לכלול בקבוצה זו את הטכנאי המטפל בפריט, את המחסן שבו נמצאת הסחורה, את הכבישים בהם נעים כלי-רכב וכד׳. במסגרת יחידות הטפול אפשר לכלול גם תורים בהן מחכות יחידות התנועה לשרותן של יחידות טפול.

יחידת הזמן במערכת הדמוי הינה שרירותית ונקבעת בהתאם לאופיה וצרכיה של המערכת שאותה מתארים. במערכת נתונה נבחר את יחידת הזמן הקטנה ביותר אשר תתאים לתאור משך הזמן הקצר ביותר בין אירוע אחד לחברו. כמו למשל אם מאורעות חלים במערכת מדי יום נקבע יחידת זמן של יום, אולם אם אוטובוסים מופיעים בתחנת ההורדה בפרקי זמן שהם כפולה של דקות בודדות - תהיה יחידת הזמן דקה אחת. זמן הבצוע של התכנית אינו תלוי ב"זמנו" של המודל.

את המודל אפשר לראות כאוסף של סמלים לוגיים ומתמטיים הקשורים ; באופן כזה שהם יכולים לתאר ולייצג את המכונות והמרכיבים של המערכת האמיתית שאנו מטפלים בה.

כל מודל בנוי ממספר רב של מרכיבים הנקראים ENTITIES , ומאוגדים ב-14 קבוצות שאפשר לרכזן לשש קבוצות ראשיות. לכל אחד ממרכיבי המודל יש אוסף סגולות או תכונות המתאר את מצבו בכל עת. תכונות אלו הן בעלות ערכים מספריים או לוגיים, המתארים את התכונות האמיתיות של המערכת האמיתית, והם מיועדים לשמושה של תכנית הדמוי לשם נתוח המודל.

מקובל לכנות ערכים אלו בשם כולל : SNA (Standard Numerical Attributes)

לדוגמה: אורך התור ליד קופה בסופרמרקט, מצב מתקן שרות - תפוש/פנוי, ערך השעון של תכנית הדמוי. יש להם סימולים מקובלים כמו Qj - עבור אורך התור j , או Sj עבור תכולת מאגר j ברגע נתון.

הערכים משתנים תוך כדי בצוע תהליך הדמוי. הגישה אליהם מאפשרת בדיקה דינמית של מצבים או תוצאות חלקיות בשלבים שונים של התהליך לשם קבלת החלטות תוך כדי בצוע.

ערכים אלו מיועדים גם לעריכת חשובים והדפסה.

מועד תחילת ארועים רבים במערכת אמיתית איננו צפוי מראש, לכל היותר ההסתברות לכך ידועה לנו. ומכיון שכך. יש לקבוע שיטה אשר תאפשר לשלוט על אקראיות הופעתם של האירועים השונים. בתכנית הדמוי תוכנתו שמונה מערכות של מספרים אקראיים (המשתמש יכול ליצור מערכות נוספות אם דרושות לו) המאפשרים לה לקבוע את תחולתם של אירועים שונים.

המספרים הקראים כלולים גם כך במסגרת ה- SNA .

1. מרכיבים בסיסיים (Basic entities)	א. תנועות	Transactions
	ב. בלוקים	Blocks
2. מרכיבי ציוד (Equipment entities)	א. מתקני שרות	Facilities
	ב. מאגרים	Storages
	ג. תמרורים לוגיים	Logic Switches

3. מרכיבים סטטיסטיים (Statistical entitites)	א! תורים	Queues
	ב. טבלאות שכיחות	Frequency Tables
4. מרכיבי התיחסות (Reference entities)	א. מונים	Save values
	ב. מטריצות	Matrix Save values
5. מרכיבים לעריכת חשובים (Computational entitites)	א. משתנים אריתמטיים	Arithmetic Variables
	ב. משתנים לוגיים	Boolean Variables
	ג. פונקציות	Fundtions
6. מרכיבי שרשרת (Chain entities)	א. שרשרות המשתמש	User Chains
	ב. קבוצות	Groups

הבלוקים והתנועות הם המרכיבים הבסיסיים מכיון שכל שנויי המצב במערכת נגרמים ע"י מעבר התנועות בבלוקים השונים.

שעון (CLOCK) או קוצב זמן

מאחר שהתנהגות מערכת אמיתית היא פונקציה של הזמן, מנהלת גם תכנית הדימוי קוצב זמן. אין זה שעון הפועל בזמן אמיתי אלא שעון מדומה הקוצב את הזמן במערכת ביחידות שלמות וקבועות.

המשמעות האמיתית של יחידות הזמן ידועות רק למשתמש ולא לתכנית. לדוגמא: יחידת הזמן יכולה להיות שניה, דקה, 3 דקות, חצי יום, יום, חודש, רבעון שנה, שנה וכו׳. יחידת הזמן נקבעת בהתאם לאופיו של המודל, מופע התנועות בו ויחידות זמן השרות ביחידות הציוד השונות. יחידת הזמן צריכה להיות קטנה במדה כזו שתכסה את פרק הזמן האמיתי. הקצר ביותר במערכת האמיתית, והיא חייבת להיות קבועה באותו המודל.

כאשר מפעילים את תכנית הדמוי, יוסט השעון, או קוצב הזמן, עבור כל תנועה במספר יחידות זמן המתאים לפרק הזמן החולף מאירוע אחד לשני. השעון איננו מתקדם ביחידות זמן קבועות.

לדוגמא: תנועה נכנסה למערכת ומחכה לשרות מספר יחידות זמן, מקבלת שרות במשך פרק זמן אחר ויוצאת מן המערכת. במקרה זה יוסט השעון פעמיים, בהתאם למספר יחידות הזמן שחלפו בהיות התנועה בצפיה לשרות ובהיותה בתחנת השרות.

אירועים שונים לתנועות שונות יכולים לחול באותו זמן. המערכת מנהל רישום ומבטיחה מפני התנגשות, או חפישת מתקן אחד ע"י שתי תנועות בעת ובעונה אחת.

תכנית הדמוי תפעיל את המודל למשך זמן אשר הוקצב על המשתמש. משך הזמן ינתן בשתי צורות:

א. זמן השעון. כלומר - המודל יופעל למשך מספר יחידות זמן שנקבע מראש.

ב. מספר תנועות שעוזבות את המערכת. המודל יופעל למשך הזמן הדרוש ל- n תנועות לעזוב את המערכת.

השעון הוא למעשה יחידה לוגית ולא יחידה פיסית, ותנועותיו אינן קצובות אלא נעשות בדלוגים בהתאם ללוגיקה של המודל. מכיון שכך, אין כל יחס בין זמן הרצת המודל למעשה לזמן של המערכת שאותה מדמים. זמן הרצת המודל הוא תולדה של מספר המאורעות המתרחשים במודל, מספר התנועות במערכת והקשרים הלוגיים השונים המרכיבים את המודל, וכמו-כן - גם המחשב בו מופעלת התכנית. יכול להיות מודל פשוט אשר ידמה מערכת אמיתית לתקופה של מספר שנים תוך כמה דקות זמן מחשב. ויתכן תהליך אמיתי מורכב מאד שזמן הרצת המודל שלו במחשב יהיה יחסית יותר ארוך.

תנועה (Transaction)

"התנועה" הינה יחידתהתקשורת הבסיסית של תכנית הדמוי. התנועות חולפות במערכת ותוך כדי תנועתן אפשר לבחון את פעולותיהן ויחסי הגומלין שביניהן.

התכונות של התנועה ואופיה הם תולדה של תכונות המערכת הנבדקת. אולם, מהי התנועה? במערכות מסוימות לא נתקל בקשיים בהגדרתה, למשל, הזמנת ייצור בבית חרושת, דרישה להספקת סחורה ממחסן, או הודעה משודרת במערכת תקשורת. במקרים אחרים ההגדרה קשה יותר כמו מופע קלקולים של מכונות או העדרויות של עובדים מפאת חופשות ומחלה.

במערכת דמוי אחת יכולות לפעול במקביל תנועות רבות מאותו סוג או מסוגים שונים, ועל המתכנן לקבוע את מסלול תנועתן ויחסי הגומלין ביניהן. תכנית הדמוי מאפשרת ליצור תנועות חדשות באמצע המסלול (בנוסף ליצירת התנועות בתחילת המסלול) ע"י פצול התנועות הקיימות. כמו כן מאפשרת התכנית לזווג תנועות. דוגמאות לפצול וזווג הם תהליכי פרוק והרכבה במפעל. בתהליכי הרכבה למשל יש לעתים רבות משמעות לבדיקת שני חלקים בודדים לפני סיום העבוד הנפרד של כל אחד מהם, ולפני ההרכבה הסופית. שלב זה של הבדיקה נעשה ע"י הוראה מיוחדת (MATCH) לשתי התנועות (חלק א וחלק ב) הנעות במסלולים נפרדים לחכות אחת לרעותה עד לגמר העבוד החלקי, ורק לאחר ההתאמה הן ממשיכות כל אחת במסלולה הנפרד.

תכנית הדמוי מאפשרת לתת לתנועות עדיפויות בזמן כניסתן למערכת או כתולדה של החלטות שונות המתקבלות תוך כדי בצוע תהליך הדמוי. תנועה בעלת עדיפות תפעל במערכת הדמוי בדומה לפעולתה במערכת האמיתית: היא "תדחק" לראש התור מכל מקום. היא תוכל גם לדחוק תנועה הנמצאת במתקן השרות, לסיים את תהליך השרות שלה ורק אח"כ להחזיר את המתקן לשרותה של התנועה שנדחקה (PREEMPT).

לכל תנועה יש מספר פרמטרים (12 או יותר), המאפשרים לצרף לה אוסף נתונים המתארים את סגולותיה ותכונותיה. את הנתונים האלה אפשר לצרף לתנועה בכל שלב של תנועתה במערכת.

מספר הפרמטרים הסטנדרטי הוא 12 אולם אפשר להגדיל את מספרם, אם נחוץ. פרמטרים אלו הם חפשיים לשמושו של המתכנן והם יכולים להכיל אינפורמציה שונה, בהתאם למודל, או לקבוצת התנועות במודל. כלומר, קבוצת תנועות אחת יכולה להכיל בפרמטר מס. 1 את מחיר התנועה וקבוצת תנועות אחרת תכיל בפרמטר מס. 1 את מספר הפעמים שהתנועה צפתה בתור לשרות של מתקן מסויים. פרמטרים נוספים של התנועה יכולים להכיל: משקל, זמן השעון כאשר התנועה חלפה במסלול מסויים של המודל, זמן צפיה בתור כלשהוא, עדיפות התנועה, מספר המתקן בו קבלה התנועה שרות לאחרונה ועוד.

הצבת הנתונים בפרמטרים של התנועות נעשית ע"י ההוראה ASSIGN הוראה זו מאפשרת גם הוספה והפחתה של מספר נתון או SNA לכל אחד מהפרמטרים. השנויים בפרמטרים של התנועות תוך כדי בצוע תהליך הדמוי מאפשרים גמישות רבה בשליטה על המודל.

פעולות שונות המתיחסות לתנועה יכולות להיות תלויות בפרמטרים שלה, ע"י ההתיחסות P או n* , כמו למשל תפישת מהקן כלשהו בהתאם להכוונה שנעשתה בשלב מוקדם כלשהו של התהליך. דבר זה מאפשר גוון הפעולות מחד וחסכון בכתיבה מאידך.

תכנית הדמוי צוברת נת נים שונים על מסלולה של כל תנועה במודל ומאפשרת קבלת תדפיס בסוף ההרצה. נתונים אלו יכולים להיות זמן שהיה ממוצע בתור מסויים, מספר סדורי של התנועה שנלכדה בכל שלב של התהליך כאשר הסתיימה ההרצה, ועוד. אולם קיימים עוד תדפיסים מיוחדים המאפשרים קבלת נתונים על כל תנועה בודדת. תדפיסים אלו מיועדים בעיקר לשלב הנפוי של המודל.

לדוגמה: נתונים הכלולים בתדפיס של התנועות החולפות בשלב מסויים (בלוק) של התהליך: מספר סדורי של התנועה, הזמן בו עזבה התנועה את הבלוק, מספר הבלוק (שלב) של המודל, סדר העדיפות של התנועה, אינדיקציה לגבי המשך המסלול, הבלוק הבא במסלול, אוסף התנועות בו כלולה התנועה (בדרך כלל כל תנועה מהווה אוסף נפרד), זמן השעון בזמן היצירה של התנועה או כאשר נדרש סימון זמן,תוכך הפרמטרים של התנועה, וכן נתונים נוספים הדרושים לתכנית הדמוי לפקח על המשך מסלולה של התנועה במערכת.

דוגמאות למספר מערכות:

צ י ו ד

המערכת	תנועה	מתקן	מאגר	יחידות שעון
מלאי	צריכה	מלגזה	מחסן	יום
תנועה	כלי רכב	הצטלבויות	כביש	שניה
בית מלאכה	הזמנה	מכונות עבוד, שלחן עבודה	עובדים	דקה
בית מלאכה	קלקול מכונה	מכונת עבוד	מחלקת תקונים	דקה
סופרמרקט	קונה	זבן,קופאי	עגלות קניה	חצי-דקה

בלוקים (Blocks)

כל האירועים במערכת מתבצעים במעבר התנועות מבלוק אחד למשנהו. בכל בלוק מתבצע דמוי של אירוע או פעולה בהתאם לדרישות המערכת האמיתית.

ארבעה סוגי אירועים יכולים לחול בבלוקים:
- יצירה או השמדה של תנועה.
- שנוי או הוספה לנתוני תאור והגדרה של התנועה או יחידת ציוד
- עכוב של תנועה לפרק זמן מסויים
- שנוי במהלך תנועתה של התנועה במערכת. שנוי זה יכול להיות מתוכנן מראש או תולדה של מצב שנוצר במערכת.

כל הבלוקים, פרט לבלוק אחד, פועלים במשך זמן אפסי. כלומר, הם מבצעים פעולות שונות על התנועות מבלי לשנות את השעון של תכנית הדמוי. לדוגמה: בדיקת מצב מסויים של תור, הוספת נתון למונה, שנוי פרמטר של תנועה, או סיעוף מנקודה אחת במסלול לנקודה אחרת. אמנם, יכול להיות מצב בו תתעכבנה תנועות בבלוק מסויים מכיון שדרכן נחסמה כמו למשל תפישת מתקן שרות ע"י תנועה קודמת. התנועות תיצורנה תור (אשר אפשר למדדו אם מעונינים) והן תשאפנה לעזוב אותו ברגע שהבלוק הבא יתפנה או שיווצר מצב אשר יאפשר את המשך תנועתן.

בלוק אחד בלבד מכוון לעכוב התנועה לפרק זמן מוגדר ומתוכנן מראש. זהו בלוק ADVANCE.

תכנית הדמוי מעבירה כל תנועה במסלול המתוכנן ומבצעת בה או בעזרתה את כל הפעולות הנדרשות. מכיון שכל הבלוקים פועלים בזמן עכוב השווה לאפס, לא יקודם השעון תוך כדי התהליך הזה. עכוב התנועה יעשה, כאמור, כאשר תכנית הדמוי נתקלת בבלוק ADVANCE או בתנאי מעכב כלשהוא. תכנית הדמוי תציין שהתנועה עוכבה, תרשום את הזמן ואת התנאי ותחפש את התנועה הבאה הצריכה לנוע באותו זמן שעון. התכנית תעביר מדי פעם תנועה אחת בלבד במסלול המקסימלי האפשרי עבור אותה תנועה. כתוצאה מתנועה זו יכולים לחלוף התנאים המגבילים עבור תנועות שעוכבו, ואז תמשיך תכנית הדמוי לטפל בהן, עד שהן תעצרנה בבלוק ADVANCE .

כאשר כל התנועות הנעות במערכת עוכבו בבלוקים הדורשים שנוי השעון, תקדם תכנית הדמוי את השעון בפרק הזמן הקצר ביותר הנדרש ע"י תנועה כלשהיא כדי להמשיך לנוע. (בדרך כלל - זמן הקידום הקצר ביותר באיזה שהוא בלוק ADVANCE). כעת תתחיל שוב תכנית הדמוי בשיטת סריקת התנועות (SCAN) כפי שתואר קודם.

הבלוק GENERATE גורם ליצירת התנועות ומשחרר אותן למסלולן במודל. אפשר לראות גם אותו כמעכב את התנועות הרוצות ל"התפרץ" למסלול. לבלוק זה מספר פרמטרים שהחשובים בהם: הזמן הבינמופעי הממוצע של התנועות והתחום סביב הממוצע. פרמטרים אחרים מאפשרים הקצאת רמת עדיפות לתנועות הנוצרות או הקצאת מספר התנועות אשר תוכנסנה למערכת (זה איננו מגביל את הרצת המודל. על המשמעות של מספר זה נעמוד בדוגמאות).

במערכת אחת יכולים להיות מספר בלוקים מסוג GENERATE , עבור מסלולים שונים. כל התנועות הנוצרות בבלוק אחד הן בעלות תכונות זהות. אפשר למשל ל"יצר" במודל אחד תנועות פריטים המופיעים לתקון בבית המלאכה, תנועות חומר גלם הבא לעבוד כלשהוא, תנועות קלקולים של מכונות ייצור ואפילו תנועות העדרות של פועלים. תכנית הדמוי תטפל בכל התנועות האלו במסגרת אחת, כפי שנעשה הדבר למעשה במציאות.

מרכיבי ציוד (Equipment)

התנועות החולפות במערכת המשתמשות בציוד, בציוד מתחלק לשתי קבוצות ראשיות: מתקנים ומאגרים.

מתקן (Facility) הנו יחידת ציוד בעלת כושר שרות לתנועה אחת בעת ובעונה אחת. כאשר המתקן עסוק בשרות של תנועה אחת, תחכנה התנועות הבאות אחריה בתור לקבלת שרות. תפישת המתקן תעשה ע"י ההוראה/בלוק SEIZE ושחרורו - ע"י ההוראה RELEASE.

תכנית הדמוי מנהל רישום של תפושת המתקנים השונים ומבטיחה את השרות הנכון בהם. התכנית מנהלת רישום על מספר התנועות שקבלו שרות במתקן ועל משך הזמן של השרות.

התהנהגות המתקן צריכה לתאום את ההתנהגות של המתקן במערכת האמיתית. ההתנהגות הזו נקבעת ע"י המתכנת, כמו למשל משך הזמן של השרות, אפשרות להפרעות בזמן השרות, אפשרות להפסקת שרות ע"י תנועה אחרת במערכת ועוד. הפסקת שרות ע"י תנועה בעלת עדיפות גבוהה יותר תהייה בבית מלאכה לחלקי חלוף למטוסים, כאשר מובא בדחיפות לתיקון אביזר שהורד ממטוס העומד להמריא בקרוב. האביזר הזה יקבל את השרות של הטכנאים ומכונות העבוד, ורק כאשר יסתיים הטפול בו ימשיכו בעבודה הרגילה שהופסקה. קלקול של המתקן הנותן שרות גם הוא יכול להחשב כתנועה בעלת עדיפות גבוהה ביותר. במקרה זה מופסק השרות למשך זמן התקון של המתקן. שים לב שהקלקול הוא "תנועה", אמנם בלתי רצויה, אולם תנועה שיש לקחתה בחשבון בזמן בנית המודל. דחיקה של תנועה אחת ע"י תנועה בעלת עדיפות גבוהה יכולה להעשות רק ע"י ההוראה PREEMPT.

<u>מאגר</u> (Storage) הינו מרכיב ציוד בעל כושר שרות למספר תנועות בו-זמנית. המאגר יכול לשמש דמוי למגרש חניה של מכוניות, מחסן סחורות, או מאגר של הנתונים בזכרון המחשב. התנועות הנכנסות למאגר יכולות לשהות בו פרק זמן מוגדר. (ע"י הוראה ADVANCE). תנועה בעלת עדיפות גבוהה אינה יכולה לדחוק תנועה קודמת מהמאגר בעזרת ההוראה PREEMPT , כפי שנעשה הדבר במתקן.

קבולתו של המאגר נקבעת ע"י המשתמש בזמן בנית המודל. תכנית הדמוי מנהלת רישום של תפושת המאגר בכל עת ומאפשרת קבלת נתונים על התפושה המקסימלית, על התפושה הממוצעת ועל השהות הממוצעת של התנועות במאגר. כמו כן אפשר לקבל נתונים נוספים לפי דרישה.

<u>תמרור לוגי ושַער</u> (Logical Switches and Gates)

ארועים החליט במערכת יכולים להשפיע על מסלולן של התנועות. האינפורמציה על תחולתם של ארועים אלו מועברת באמצעות התמרורים הלוגיים. לדוגמה: האשנבאי בבנק מציב שלט "פנה לאשנב מימין" כאשר הוא יוצא להפסקה והתמרור בתכנית יעבור למצב "מופעל". התנועות, או במקרה זה הלקוחות, יפנו לאשנב (מתקן) אחר כאשר יגיעו אל האשנב המסומן.

כאשר יחזור האשנבאי לעבודתו, יוסר השלט מהאשנב, ובמקביל יוסט התמרור הלוגי למצב "פנוי" בתכנית הדמוי. ההחלטה מה תעשה התנועה המגיעה לתמרור מופעל נתונה בידיו של המתכנן. התנועה יכולה לפנות למתקן אחר או לחכות לשחרור התמרור.

התמרור הוא מציין המצב והשער הוא בלוק ההתניה. באשר הבלוק LOGICS מציין מצב מופעל (ON) והבלוק המקביל LOGICR מציין מצב פנוי (OFF). את התמרור אפשר להפעיל ולשחרר כפי שנדרש בתכנית. לעומתו הבלוק GATE יכול לבחון את מצבו של התמרור ע"י הבחינה LS או LR . תנועות המגיעות לבלוק זה עלולות להעצר כאשר תנאי הבחינה אינו מתמלא. מדי פרק זמן יבחן מצבו של התמרור ואז, במדה שמצבו יוסט למצב הנגדי, ישתחרר השער והתנועות תוכלנה להמשיך במסלולן. שער יכול לבחון גם תנאים לוגיים אחרים כגון מאגר מלא ומאגר לא מלא, מתקן עסוק או פנוי, מתקן הופרע בפעולתו ע"י תנועה אחרת או לא הופרע.

<u>תורים</u> (QUEUES)

בכל מערכת יכולים להיות עכובים במסלול התנועות, כלומר, להווצר "תורים" לפני תחנות שרות שונות. העכוב יכול להיות בגלל תפישתו של המתקן ע"י תנועה קודמת או בגלל מאגר מלא שאינו מאפשר כניסה של תנועה נוספת לתוכו. מדידת התור והפקת נתונים מלאים אודות השנויים החלים בו הינם חלק חשוב בפעולתה של תכנית הדמוי.

מדידת התור תעשה ע"י כתיבת ההוראה QUEUE כאשר התנועה נכנסת לתור וההוראה DEPART כאשר התנועה עוזבת את התור. בין שתי ההוראות האלו צריכה להופיע הוראה כמו SEIZE , שמשמעותה תפישת מתקן. רק לאחר תפישת המתקן ע"י התנועה אפשר לעזוב את התור.

המתכנן אינו חייב לערוך מדידות של התור, אם כי הוא לא ימנע בעד תכנית הדמוי לנהל את הלוגיקה של התור לצורך פעולתה. התכנית רק לא תצבור את הנתונים הסטטיסטיים המיועדים למתכנן.

בין הנתונים הסטנדרטיים שמספקת תכנית הדמוי כלולים: תפושה מקסימלית של התור, מספר התנועות שעברו דרכו, מספר התנועות שעברו דרך התור ולא התעכבו בו (כלומר התור היה פנוי), זמן צפיה ממוצע בתור. המשתמש יכול לבקש נתונים סטטיסטיים נוספים לאלו שמספקת תכנית הדמוי כסטנדרד במודל שבו מטפלים בתורים.

טבלאות (Tables)

צויין כבר שהמשתמש יכול לדרוש צבירת נתונים סטטיסטיים רבים נוספים לאלו שמספקת תכנית הדמוי כסטנדרד. לדוגמה: התפלגות משך הצפיה בתור, התפלגות משך זמן שהיה של תנועה במערכת, שנויים בפרמטרים של תנועות. התפלגות של תכולת מאגרים, התפלגות מופע התנועות.

שיטת הצבירה בטבלאות התפלגות היא מחויבת המציאות, בה מופעים ומשכי זמן שרות הם אקראיים.

טבלת ההתפלגות נותנת תמונה על ההסתברות לקבל זמן שהיה כלשהוא במערכת או תור באורך מסויים לפני מתקן כלשהוא.

בתכנון הטבלה יש לקחת בחשבון את גודל המרווחים בציר המשתנה הבלתי-תלוי ואת מספרם. תכנית הדמוי מסכמת את מספר המקרים בציר המשתנה התלוי בכל מרווח לשם הדפסה בסוף ההרצה. התכנית עורכת חשובים נוספים: חשוב אחוז המופעים בכל נקודה של המשתנה הבלתי תלוי, חשוב אחוז מצטבר, סטית התקן, ממוצע ועוד.

הדרישה לגביי תכולת הטבלה תנתן ע"י ההגדרה TABLE.
הדרישה לכלול רישום בטבלה תעשה ע"י הבלוק/הוראה TABULATE .

מונים (Savevalue)

תכנית הדמוי מאפשרת הצבת נתונים במונים ובצוע פעולות סכום וחסור במונים אלו. הנתונים יכולים לשמש לפעולות אריתמטיות אחרות וכמו - כן גם לפעולות לוגיות לשם החלטה על מסלול התנועה.

המונים יכולים לשמש לצבירת נתונים שונים. הנתונים יכולים להיות אורך תור של תנועות לפני מתקנים שונים, מצב מאגר לפני שעורכים בו שנוי, או פרמטרים שונים של תנועות (רק בצורה זו יכולה להתיחס תנועה אחת של נתונים אל רעותה).

מטריצות (Matrix Save values)

כאשר מתעורר צורך לאגור נתונים בטבלאות דו-ממדיות נעזרים במטריצות. נתונים המאוחסנים במטריצות ניתנים לשנוי תוך כדי בצוע ההרצה.

משתנים אריתמטיים (Arithmetic Variables)

שיטת המשתנים הכלולה בתכנית הדמוי מאפשרת לערוך חשובים שונים ב- SNA .

החשובים האפשריים הם ארבע פעולות החשבון בצרוף פעולה של מציאת מודול של מספר נתון.

המשתנה מהווה בעצמו SNA ומאפשר להשתמש בערכו המספרי המחושב לשם פעולות שונות: זמן השרות של מתקן מסויים עבור תנועה כלשהיא יחושב בנוסחה שתקח בחשבון נתונים קבועים שונים ונתונים שילקחו מהפרמטרים של התנועה.

תכנית הדמוי GPSS פועלת עם מספרים שלמים בלבד ולכן היא מעגלת כל מספר כלפי מטה, עוד לפני תחילת החשוב. כאשר רוצים לשמור על הדיוק יש לדאוג לכך ע"י תכנות מתאים (למשל לכפל פי 100) או לעבוד במספרים בשיטת הנקודה הצפה (Floating Point), שבה נעשית פעולת העגול רק בסיום הפעולה. יש לזכור שבנגוד למקובל, חלוק מספר ב"אפס" איננו שגיאה אלא נותן ערך השוה ל-אפס.

משתנים לוגיים (Boolean Variables)

המשתנים הלוגיים מקבלים ערכים 1 או 0 עבור מצבים שונים. ערכו של המשתנה הלוגי הוא עצמו SNA, ועל כן אפשר לכלול אותו בכל מקרה שאפשר להציב SNA .

המשתנה הלוגי הוא תולדה של פעולות לוגיות כגון בחינה של שני אלמנטים למצב שויון, אי שויון, גדול או קטן, פעולה של חבור או התנייה בוליאנית (or, and), או בדיקה לוגית כמו בבלוק "שער" לגבי מצבם של מאגרים ומתקנים.

__פונקציות__

הפונקציות מאפשרות קבלת ערכים של משתנים בדידים או רציפים על פי ערכי המשתנה הבלתי תלוי שהוא SNA . הערך המחושב, המשתנה התלוי, גם הוא SNA . הוא מסומן בתכנית הדמוי כ- FNj כאשר j הוא המספר הסדורי של הפונקציה המוגדרת בתכנית.

פרוט נוסף על הפונקציות ראה בהמשך.

__שרשרת תנועות__ (Transactions Chains)

שרשרות שונות של תנועות מנוהלות אוטומטית ע"י התכנית. שתי השרשרות החשובות ביותר הן השרשרת של הארועים הקיימים (Current event chain) ושרשרת הארועים העתידיים (Future event chain)

הארועים (Events) הם שנויי-מצב בתכנית הדמוי הגורמים ל:-

- יצירה או בטול של תנועות
- שנוי ערכים של תנועות או שנוי מסלול של התנועות במודל
- שנוי שרשרות המצב השונות של התנועות

השרשרת של הארועים הקיימים ממויינת לפי מופע התנועות או לפי עדיפות, כאשר זו נקבעת, וכוללת את כל התנועות במסלול העומדות לנוע במועד מסויים.

תכנית הדמוי, הסורקת את מצבי התנועות, תשאף תמיד להזיז תנועות הנמצאות בשרשרת זו אל הבלוק הבא.

התנועות בשרשרת נמצאות במצב של פעילות ואז הן ממשכנה לנוע לבלוק הבא במסלולן. התנועות יכולות להמצא במצב של דחיה או עכוב מכיון שקיים תנאי מגביל במסלול תנועתן. תנועות אלו תופרדנה זמנית מהשרשרת המרכזית. ברגע שהתנאי המגביל יוסר, הן תצורפנה לשרשרת המרכזית ותכנית הדמוי תמשיך להפעילן. השרשרת של הארועים העתידיים ממויינת לפי זמן, וכוללת את כל התנועות העומדות לנוע במסלול באיזה שהוא מועד בעתיד. קיימות מספר שרשרות נוספות למטרות אחרות, המאפשרות לתכנית הדמוי לשנות את סדר הטפול בתנועות, כמו למשל לפעול בשיטת LIFO במקום השיטה הסטנדרטית (FIFO). קביעת סדר התנועות העומדות לנוע יתבצע ע"י שרשרות הבקרה כפי שצויין למעלה.

סדרה חשובה של השרשרות הללו נקראת שרשרות המשתמש, או User Chains

בשרשרות אלו נמצאות תנועות בשלב זמני כלשהוא של אי פעולות.
התנועות מוצבות או מוצאות משרשרות אלו ע"י הוראת LINK או UNLINK.

שרשרת אחרת היא שרשרת ההפרעות לשרות (Interrupt chain) וכלולות בה כל התנועות ששרותן הופסק באופן בלתי צפוי ע"י תנועה עדיפה (ההוראה PREEMPT). כאשר ההפרעה תוסר, כלומר יסתיים השרות של התנועה העדיפה, תחזור התנועה המקורית לקבל שרות. אפשר לדמות את מצב ההפרעה הזה למצב ההפרעה (Interrupt) במחשב.

שרשרת נוספת היא שרשרת ההתאמה (Matching chain) המיועדת לכל התנועות המחכות לבצוע אירוע מקביל במסלולן של תנועות אחרות כדי שהן תוכלנה להמשיך. בהתאמה, תחכה תנועה במסלול אחר להתאמה עם המסלול של התנועה הנוכחית לפני שהיא תמשיך במסלולה היא.
תנועה תצטרף לשרשרת זו כאשר היא נכנסה לבלוק GATHER, ASSEMBLE או MATCH.

<u>אוספי התנועות</u> (Assembly Sets)

פרט לשייכותה לשרשרת כלשהיא נמצאת התנועה הנוצרת גם באוסף כלשהוא של תנועות. האוסף הזה יכול לכלול את התנועה המקורית בלבד, אולם כאשר חל פצול (SPLIT) יכלול האוסף גם את כל התנועות אשר נוצרו מהתנועה המקורית אשר יצרה את האוסף. משמעותו של האוסף חשובה במספר ההוראות.

דוגמה לבעיה בשיטת הדמוי הספרתי

תהליך בקורת מוצרים

דמוי ספרתי הוא שיטה לחקוי פעולתם של מתקנים או מערכות מסובכים. החקוי נעשה על סמך תאור סטטיסטי של התנהגות מרכיבי המתקן או המערכת.

הדמוי נעשה לשם תכנון מתקנים חדשים ובדיקת השפעות של שנויים מוצעים על מערכת קיימת. בעזרת הדמוי אפשר גם לאמוד את מידת הניצולת של כל אחד ממרכיבי המערכת, לגלות נקודות תורפה וצוארי בקבוק ולהעריך שיטות הפעלה שונות.

מוצגת כאן לדוגמה מערכת הכוללת תהליך ייצור קיים. תכנית הדמוי הופעלה לשם נתוח המצב הקיים ולהצגת ההשלכות של שפורים מוצעים על התפוקה של המערכת.

תוצאות ההרצות של המודל סוכמו ורוכזו בטבלה. המציגה מצד אחד את 4 האפשרויות של הפעלת המערכת, ומצד שני פרטים שונים על התפוקה, נצולת וזמני המתנה מסלול. על ההנהלה לנתח את היתרונות שבהפעלת כל אחת מהשיטות המוצעות בהשואה למצב הקיים ולקבוע מהו השיפור אשר יענה בצורה הטובה ביותר על דרישותיה.

הבעיה

ייצור הנעשה על סרט נע מספק יחידה גמורה אחת כל 12 עד 24 דקות (בהתפלגות קצובה בין שני הערכים האלה). כל יחידה מעברת לאחר מכן לדוכן וממתינה שם לבדיקה ע"י אחד משלושת המפקחים. קיבול הדוכן הוא 10 יחידות בלבד. כאשר מתמלא הדוכן, מצלצל פעמון והסרט הנע נעצר עד אשר מתפנה מקום בדוכן.

המפקח מבצע את העבודות הבאות:

א. הוא מוריד את היחידה מהדוכן ומסתכל בה. דבר זה נמשך 1 ±2 דקות.

ב. לאחר מכן הוא ממתין עד אשר מתפנה אחד משני האוסילוסקופים. הבדיקה במתקן זה דורשת מ-26 עד 42 דקות.

ג. לאחר שסיים, הוא מדביק תוית על היחידה וממלא את טפסי הבדיקה, דבר זה נמשך 1 ±2 דקות.

ד. לבסוף הוא ממתין עד אשר מתפנה מתקן האריזה היחידה שבמפעל. פעולת האריזה עצמה דורשת 10 ± 16 דקות נוספות מזמנו.

המפקח מוכן עתה להוריד את היחידה הבאה מהדוכן.

ברצוננו לדעת:

א. מה היא התפלגות משך הזמן שבו נמצאת יחידה ברשות המפקחים?

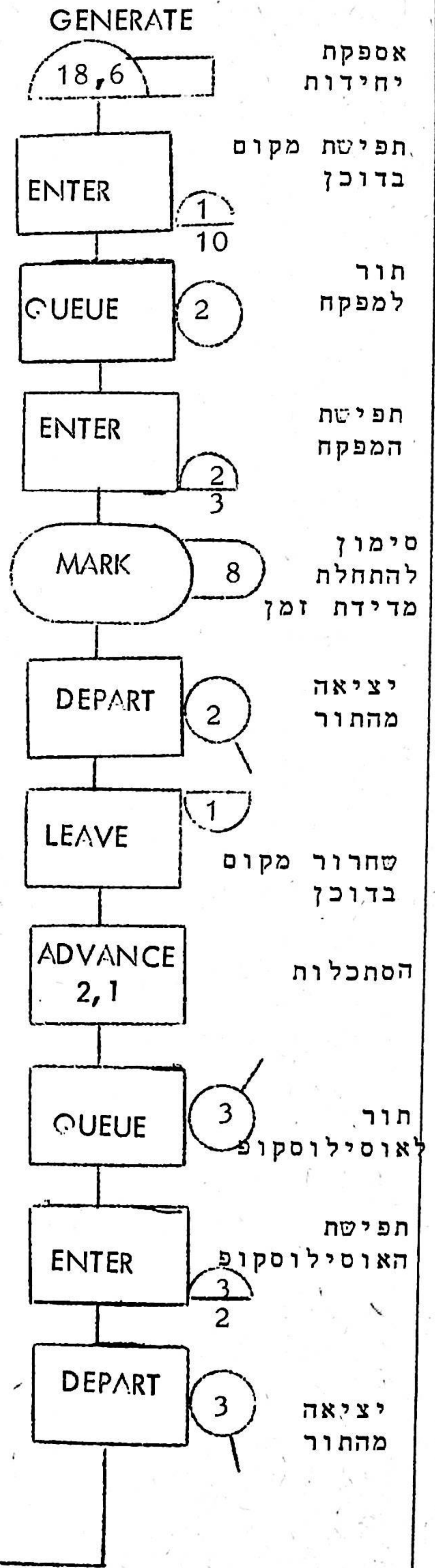
ב. כמה יחידות נארזות בממוצע לשעה?

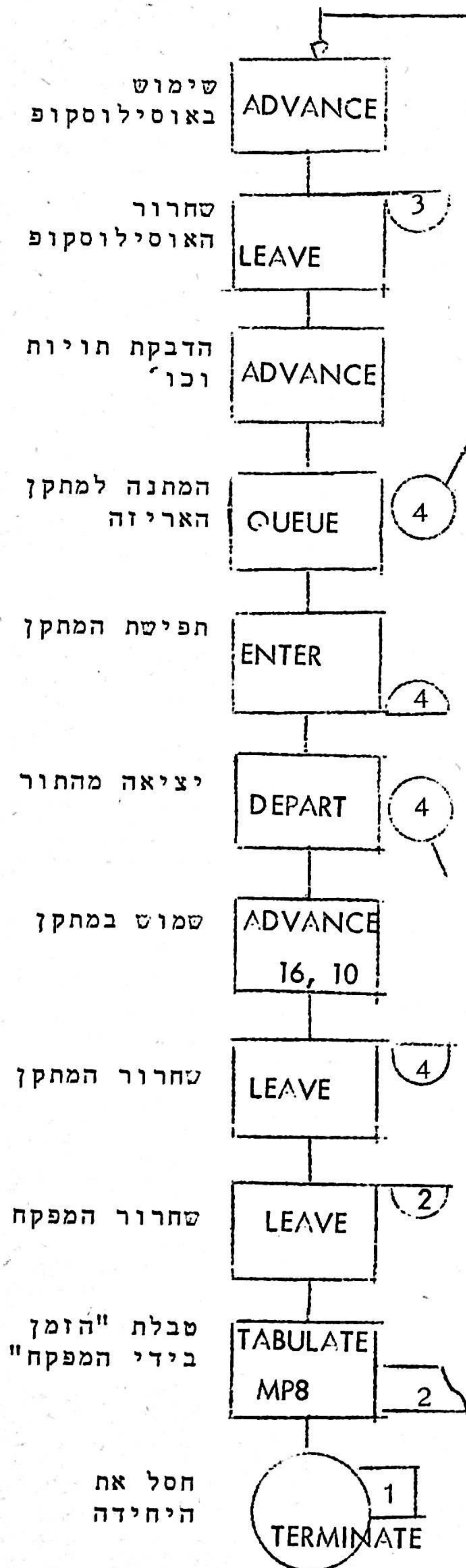
ג. איזה מהשיפורים הבאים יגדיל ביותר את מספר היחידות הנארזות לשעה ובכמה?

1. הוספת מפקח
2. הוספת אוסילוסקופ
3. הוספת מתקן אריזה

להלן ניתן תרשים הזרימה של התהליך, כפי שהוא מובע בסימולים המקובלים של .G.P.S.S

קו ייצור, תרשים זרימה





סיכום התוצאות של 4 הרצות דמוי

כל הצה כיסתה 12000 דקות (200 שעות) של ייצור.

	3 מפ. 2 אוס. 1 אר.	+מפקח	+אוסילוסקופ	+ מתקן אריזה
מס. היחידות שירדו מהסרט	605	*670	619	627
מס. היחידות שנארזו	593	663	606	615
מס. היחידות שנארזו בשעה	2.97	3.34	3.03	3.08
מס. הדקות הממוצע שיחידה שהתה אצל מפקח	60.4	70.3	59.0	58.1

ניצול המערכת

דוכן	.869	.160	.819	.849
מפקחים	.997	.974	.996	.996
אוסילוסקופים	.840	.954	.571	.874
מתקן אריזה	.804	.875	.821	.415

זמני המתנה ממוצעים

למפקח	172.4	28.7'	158.8	162.4
לאוסילוסקופ	2.2	8.2	0.0	4.0
למתקן אריזה	4.0	7.9	4.9	0.0

* המקסימום האפשרי.

התרשים ותכנית המודל

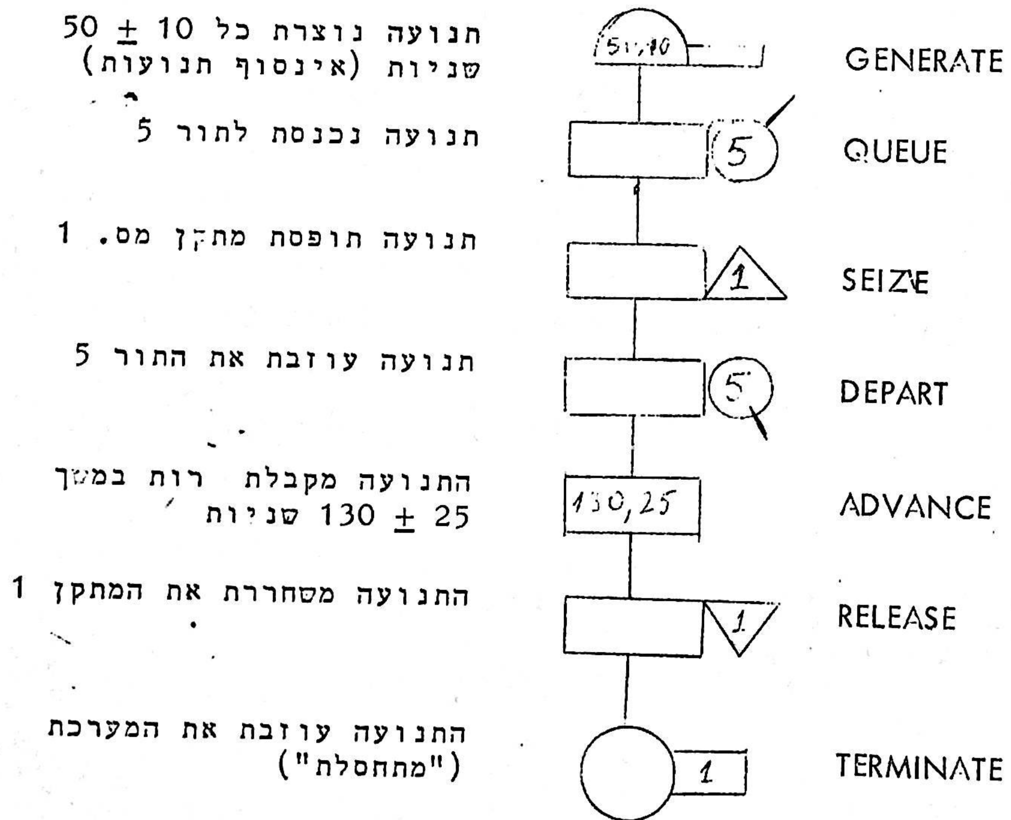
שלב חשוב בתכנון המערכת לשם הרצה בעזרת תכנית הדמוי הוא הכנת תרשים-הזרימה, או התרשים המלבני.

התרשים הנו הצגה גרפית של הפתרון הלוגי לבעיה וממחיש את הקשרים שבין המשימות והשלבים השונים בבצוע התהליך. שיטת הצגה על ידי תרשימים מהוה דוקומנטציה סטנדרטית, חד-משמעית מסודרת ונוחה להבנה ולשמוש. במיוחד מאפשרת שיטת ההצגה בעזרת התרשים לראות את כל הבעיה ולהקיף את מרכיביה השונים לשם עריכת תקונים ושנויים בהתאם לצרכים המתעוררים.

לכל פעולה או אירוע המיוצג בתרשים יש סמל מיוחד. קיימים כ-50 סמלים שונים המחולקים בקבוצות ענייניות. בנוסף לסמל יש גם תאור מילולי של הפעולה שמקובל גם אותה לרשום בצד הסמל או בתוכו. (ראה נספח).

<u>תרשים לדוגמא:</u>

המונה פועל לפי <u>שניות</u>.



כאשר לא רוצים להשתמש בסמלים המיוחדים לתרשימי תכנית הדמוי אפשר להסתפק בשרטוט המלבני בלבד, אולם אז חובה לרשום בתוך המלבן את משמעותו, כמו למשל QUEUE 5

דוגמאות לכך ראה בחוברת Introductory בפרק GPSS/360 Block Formats and Symbols ובחוברת Users Manual בטבלה בשם זהה.

לכל בלוק או הוראה שני מרכיבים עקריים:

- תאור הבלוק/ההוראה
- פרמטרים

ההוראה היא דמוי של מרכיב כלשהוא במערכת האמיתית. הפרמטרים מהוים השלמה להוראה הבסיסית של הבלוק ומספקים אינפורמציה כמו למשל זמן שרות, כתובת לסיעוף, זמן ממוצע בין מופעי תנועות ופזור סביב הממוצע, מספר התנועות שיש ליצור במודל, מספר תנועות שתתחסלנה בכל מסלול וכו'.

תכנית המודל אשר תכתב לפי התרשים הזה היא:

```
SIMULATE
GENERATE      50,10
QUEUE         5
SEIZE         1
DEPART        5
ADVANCE       130,25
RELEASE       1
TERMINATE     1
END
```

הקורא הבחין בודאי בעובדה שלתכנית זו אין הגבלה. כלומר, תכנית הדמוי תיצור אינסוף תנועות.

עלינו להגביל את המודל באחת משתי באפשרויות הקיימות:

הגבלה לפי מספר התנועות העוזבות את המערכת.
והגבלה לפי יחידות זמן.
ההוראה GENERATE ניתנת בראש המסלול של המודל.

א. הגבלה ע"י מספר התנועות שתעזובנה את המערכת (1000):

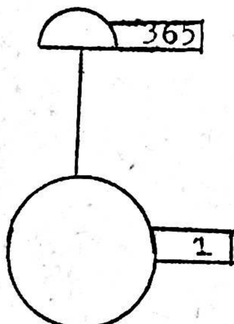
START 1000

ההוראה START ניתנת בסוף התכנית כהוראת פקוח ולא כבלוק מתוך המודל.

ב. הגבלת זמן. הגבלת הזמן נעשית ע"י הקצבת מספר יחידות זמן, בהתאם ליחידות הנקבעו עבור השעון.
לדוגמה: אם רוצים להריץ מודל למשך שנה, וקבענו שיחידת הזמן היא יום אחד, עלינו לבקש מתכנית הדמוי להפסיק את המהלך לאחר חלוף 365 יחידות זמן. אולם אם קבענו שיחידת הזמן היא חצי יום, נדרוש הפסקת המהלך לאחר 730 יחידות זמן.

כדי להגביל את הבצוע בזמן ההרצה יש לבנות מסלול זמן במקביל למסלול של המודל הבסיסי.

במודל הבסיסי ניצור תנועות ללא הגבלה וחסולן יהיה ללא הגבלה. ההוראה TERMINATE הגורמת לחסול תנועות תהיה ללא פרמטרים. בדרך כלל נציין בפרמטר ראשון את מספר התנועות שתתחסלנה כאשר הן תעבורנה בבלוק זה.



התרשים של המסלול המקביל של הזמן יהיה: GENERATE

במסלול זה תיוצר תנועה כל 365 יחידות זמן.
היא תעבור לבלוק הבא ותעזוב את המערכת. TERMINATE

תכנית המודל למסלול זה תהיה:-

יצירת תנועות מדי 365 יחידות זמן

```
GENERATE 365
TERMINATE 1
START 1
```

כלומר, להפסיק את הרצת המודל כולו (מספיק שיהיה תנאי מגביל באחד המסלולים של המודל) לאחר שתעבורנה בו 1 תנועות.

כאשר יחידת הזמן היא חצי יום נרשום כך:

```
GENERATE 730
TERMINATE 1
START 1
```

כאשר אנו רוצים להריץ פרק זמן של שנתיים ויחידת הזמן היא חצי יום נוכל לרשום גם כך:

```
GENERATE 730
TERMINATE 1
START 2
```

ואז המהלך יופסק לאחר שתחלופנה בו 2 תנועות כלומר פעמיים 730 יחידות זמן.

את הפרמטרים של הבלוקים וההוראות אפשר לכתוב גם בצורה סמלית, בנוסף לצורה המפורשת. השמוש בצורה סמלית מאפשר להשתמש במקורות נתונים המשתנים תוך כדי הרצת המודל.

נקח לדוגמה את זמן השרות של התנועה במתקן אשר יכול להרשם באחת מהצורות הבאות:

זמן שרות קבוע של 5 יחידות זמן	ADVANCE 5
זמן שרות אקראי בתחום 2 $\pm$ 5 יחידות זמן	ADVANCE 5,2
זמן שרות אקראי לפי הפונקציה מס. 8 אשר הוגדרה במודל	ADVANCE FN8
זמן שרות אקראי בתחום שהממוצע שלו נלקח מפרמטר 1 של התנועה וסטיתו המקסימלית $\pm$ 2 יחידות זמן	ADVANCE *1,2

ועוד

סמול המתקנים והתורים נרשם בספרות. שיטה זו עלולה להכביד מאד כאשר מספרם רב בתכנית. בהירות רבה יותר אפשר להשיג רק אם ינתנו להם כנויים (בני 3 אותיות לפחות). תכנית הדמוי תתן להם ערכים מספריים (לפי סדר הפעתם) כפי שדרוש לה בחשוביה.

לדוגמה:

כניסה לתור: CASH5	QUEUE CASH5
תפישה של המתקן MACHINE	SEIZE MACHINE

גם למאגרים אפשר לתת כנויים כמו למשל:

BUS STORAGE 45

מאגר שכנויו BUS ותכולתו המקסימלית 45 תנועות.

כניסה למאגר BUS	ENTER BUS

משתנה מסויים אפשר להגדיר כך:

1 VARIABLE X1 + 5 * Q 3

כלומר, כנוי המשתנה הוא 1 וערכו הוא סכום התכולה של מונה 1 ומכפלת המספר 5 בגודל התור מס. 3.

שמוש בסמלים בלבד יהיה:

VALUE VARIABLE XØCOUNTER1 + 5 * QØCASH

כאן: כנוי המשתנה יהיה VALUE , כנויו של המונה מס.1 הוא COUNTER1 וכנויו של התור מס. 3 הוא CASH.

הכנת המודל לשם הזנה לתכנית הדמוי

לאחר שתכנית הדמוי הוכנה ונרשמה בטפסים המיוחדים המיועדים לכך יש לנקבה בכרטיסים ולהזינה למחשב.

מבנה הכרטיס לנקוב התכנית:

טור 1 - ריק או סימן כוכבון (*)
כאשר מופיע כוכבון תחשב השורה, או תכולת הכרטיס, כהערה בלבד. ההערה תודפס ע"י תכנית הדמוי לשם בהירות והסדר אולם היא לא תכלל במודל.

טורים 2 עד 7 - כתובת או כנוי.
בתכנית המודל תרשם כאן כתובת לשם הפניה
מהוראת סיעוף.
לגבי ההגדרות ירשם כנוי ההגדרה אשר יכול
להיות א"ב או מספרי

טורים 8 - 18 - תאור ההגדרה או ההוראה/בבלוק. למשל
SEIZE, FUNCTION VARIABLE וכו׳.

טורים 19 - 72- פרמטרים של ההגדרות וההוראות השונות.

המספר המקסימלי של פרמטרים שאפשר לתת לבלוק הוא שבעה, והם מסומנים באותיות A עד G. סדר כתיבתם חשוב והם מופרדים זה מזה בפסיק. כאשר מדלגים על פרמטר כלשהוא יש לכתוב שני סימני "פסיק" ברציפות ללא רוח. כאשר כותבים רק את הפרמטרים הראשונים, אין לכתוב פסיק לאחר הפרמטר האחרון שנכתב.

טורים 73 - 80 - שדה זהוי לתכנית (מיועד רק למשתמש בדומה להערות).
הערות אפשר להוסיף גם בצד ימין של הפרמטרים
הנכתבים, כאשר לפחות טור ריק אחד מפריד בינם לבין
ההערה.

שיטת הדמוי באה לפתור בעיות במצבים של חוסר ודאות.
ניקח לדוגמה את רופא השניים. הקובע ראיונות לכל רבע שעה החל משעה 8.30 בבוקר.

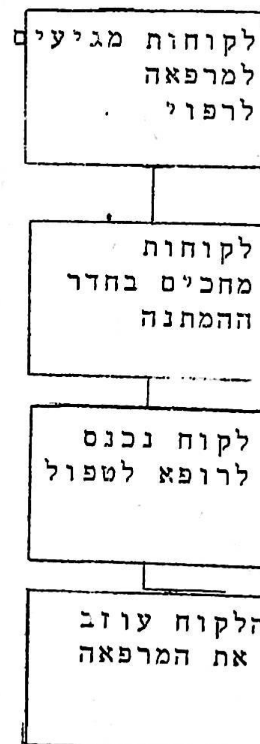
הטפול בכל פציאנט נמשך 5 ± 15 דקות.
השאלות הן:

א. כמה מושבים יש להכין בחדר ההמתנה, וכמה זמן בממוצע ישהה בו פציאנט

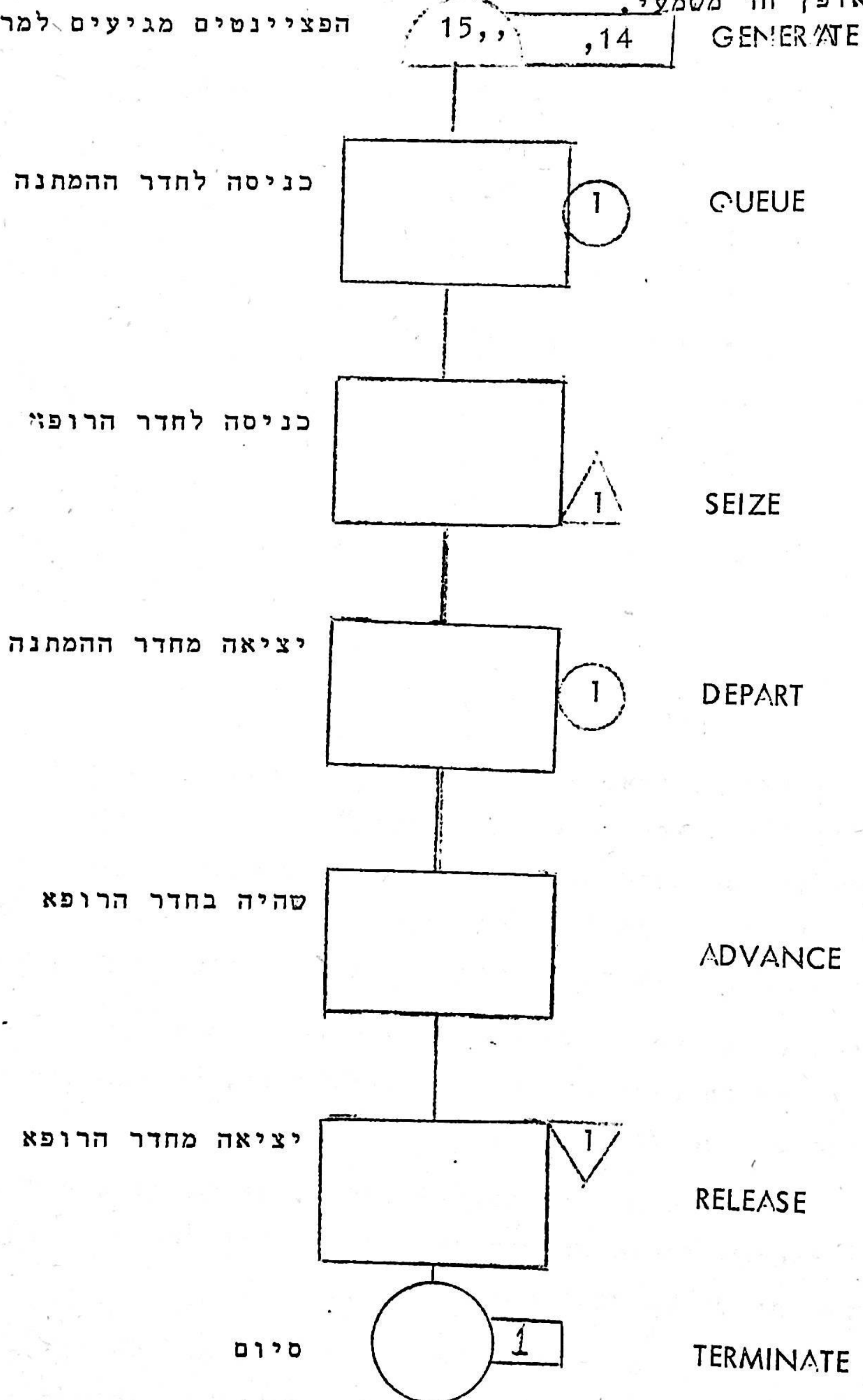
ב. מהו אחוז תעסוקתו של הרופא?

איך ננתח את המודל?
התנועה במודל זה היא הפציאנט הבא לטפול. מתקן השרות הוא הרופא. פציאנט מעונין לקבל מיד את השרות ולעזוב את המרפאה. אולם מכיון שזמן השרות של כל פציאנט איננו קבוע, עלול להווצר תור של פציאנטים המצפים לשרות.

התרשים הלוגי יהיה:



כאשר נציב את המודל עבור תכנית הדמוי יהיה צורך לבנות אותו בפרטות רבה יותר, כאשר הפעולות הנעשות בשלבים ומוגדרות באופן חד משמעי.



תחנת שרות מס. 1 – רופא עיניים
תור מס. 1 – חדר המתנה

לאחר הכנת תרשים הזרימה עבור המודל, רושמים את התכנית בצורה המתאימה לנקוב בכרטיסים לשם הזנה למחשב.

מספר סדורי	הוראה	פרמטרים
	SIMULATE	
1	GENERATE	15,,,14
2	QUEUE	1
3	SEIZE	1
4	DEPART	1
5	ADVANCE	15,5
6	RELEASE	1
7	TERMINATE	1
	START	14
	END	

הסבר (לפי מספר הוראה)

ההוראה SIMULATE בראש התכנית מציינת תחילתו של מודל דמוי (אפשר להפעיל בזה אחר זה מודלים שונים).

1. הרופא קבע את שעות הטפול משעה 8.30 עד 12.00. מכיון שכל טפול נמשך 15 דקות, היה עליו להזמין 14 פציינטים. ההוראה GENERATE מכוונת אם כן ליצירת 14 תנועות בפרקי זמן קצובים של 15 דקות.

2. הפציינט נכנס לחדר ההמתנה ומצטרף לתור. אם הרופא פנוי ואין תור יחלוף הפציינט בחדר ההמתנה מבלי להעצר בו. ההוראה לכך היא QUEUE 1 - התנועה מצטרפת לתור מס. 1.

3. כאשר הרופא מתפנה נכנס הפציינט לחדרו. פציאנטים אחרים הנמצאים בתור ימשיכו לחכות עד שהרופא יתפנה. ההוראה היא SEIZE 1 - התנועה תופשת את מתקן השרות מס.1.

4. כאשר הפציינט נכנס לחדרו של הרופא, הוא משחרר את מקומו בתור. ההוראה היא DEPART 1 - התנועה עוזבת את תור מס. 1.

5. משך הטפול בפציאנט נמשך 5 ± 15 דקות.
ההוראה היא ADVANCE 15,5, ומשמעותה השהייה מכוונת של התנועה לפרק זמן כלשהוא. בחירת זמן ההשהיה בתחום 10 עד 20 דקות יעשה באקראי, ע"י שמוש במספרים אקראיים לכל נקודת זמן בתחום יש הסתברות שוה להבחר.

6. כאשר מסתיים הטפול, יעזוב הפציאנט את חדרו של הרופא, ויפנה אותו לשרותו של פציאנט אחר.
ההוראה היא RELEASE 1 – התנועה משחררת את מתקן השרות מס.1.

7. לאחר הטפול עוזב הפציאנט את המרפאה.
ההוראה TERMINATE 1 באה להורות על כך שתנועה אחת מתחסלת.

ההוראה START 14 הינה הוראת פקוח ובאה להורות על כך שמודל הדמוי יופעל עד אשר יעזבו את המערכת 14 תנועות.

ההוראה END היא ההוראה האחרונה בקבוצת הכרטיסים אשר יוזנו לתכנית הדמוי.

ה פ ל ט

עם גמר הרצת התכנית עם נתוני המודל מקבלים דוח לגבי הפעילות של מתקן השרות והתור.

FACILITY NUMBER	AVERAGE UTILIZATION	NUMBER ENTRIES	AVERAGE TIME/TRANS	SEIZING TRANS.NO.	PREMPTING TRANS.NO.
1	.8701	14	14.36	0	0

QUEUE NUMBER	MAXIMUM CONTENTS	AVERAGE CONTENTS	TOTAL ENTRIES	ZERO ENTRIES	PERCENT ZEROS	AVERAGE TIME/TRANS	$ AVERAGE TIME/TRANS
1	1	.10	14	7	50.0	1.57	3.14

$ AVERAGE TIME/TRANS = AVERAGE TIME/TRANS EXCLUDING ZERO

1. מתקן השרות - הרופא:

א. הנצילות הממוצעת היא 0.8701, כלומר כ-87%.

ב. זמן השרות הממוצע הוא 14.36 דקות.

2. התור - חדר ההמתנה:

א. תפושת התור לא עלתה על תנועה אחת.

ב. תפושתו הממוצעת של התור היתה 0.10, כלומר 10%

ג. מספר התנועות שעברו דרכו היה 14

ד. מספר התנועות שלא התעכבו (Zero Entries) היה 7.

ה. זמן ממוצע לשהיה של תנועה (מתוך ה-14) היה 1.57 דקות.

ו. זמן שהיה ממוצע של תנועה שהתעכבה בתור היה 3.14 דקות.

מסקנות

בבעיה זו נדרשנו להשיב על שתי שאלות. האחת ביחס לחדר ההמתנה והשהיה בו, והשניה - ביחס לתעסוקתו של הרופא.

התשובות לכך הן:

א. בחדר ההמתנה מספיק כסא אחד בלבד.

ב. זמן שהיה ממוצע של פציאנט, מאלו שחכו בתור, היה 3.14 דקות

ג. תעסוקתו של הרופא היתה 87% מזמנו, כאשר זמן הטפול הממוצע לפציאנט היה 14.36 דקות.

המטרה הינה לתכנן את זרימת הלקוחות בסופרמרקט.
הבעיה המתוארת כאן מיועדת להצביע על דרך בנית המודל והכנת תרשים הזרימה. בהמשך ניתן תאור של הפלט המתקבל בסיום ההרצה. לסיום, נצביע על מספר אפשרויות לתקון המודל ושכלולו.
הנתונים שבהם נעזרים בבנית המודל מחולקים לעובדות ולהנחות. העובדות, במידה שאפשר לכנותן כך, הן מספרים מוגדיים וקבועים של מספר מתקנים וקבולת מאגרים למשל אשר יקבעו במערכת הרצויה. ההנחות הן הערכות של זמני שרות, תדירות מופע וכדומה, כאשר אנו מטפלים בשפור של מערכת אמיתית הפועלת למעשה, גם חלק מנתונים אלו הן עובדות.
הזנחנו בבנית המודל מספר גורמים הפועלים בו כדי לפשט את הבעיה, אולם נפרט אותם בהמשך לשם הדגמה.

בסופרמרקט המתוכנן יהיו:

40 עגלות
3 קופות רגילות
קופת אקספרס אחת

הקופות הרגילות וקופות האקספרס מתיחסות לסוגי לקוחות המופיעים בסופרמרקט ועורכים את קניותיהם המעטות בחפזה, או שוהים זמן רב יותר לקניות מרוכזות.

ההנחות הן:
א. הלקוחות מגיעים בקצב של 20 ± 30 שניות ומחכים שתתפנה עגלה.
ב. 30% מהלקוחות הם לקוחות אקספרס והיתר לקוחות רגילים
ג. לקוח אקספרס אוסף מצרכים במשך 5 ± 2 דקות. לקוח רגיל במשך 10 ± [illegible] דקות.
ד. לקוח אקספרס פונה לעופת האקספרס, שוהה במשך 45 ± 20 שניות, מחזיר את העגלה ועוזב מיד את הסופרמרקט.
ה. לקוח רגיל בוחר באחת מ-3 הקופות הרגילות לפי התור הקטן ביותר. ליד הקופה הוא שוהה במשך 75 ± 30 שניות.

ו. 40% מהלקוחות הרגילים מחזירים מיד את העגלה ועוזבים את המקום. היתר לוקחים את העגלה לפריקה למכוניתם, פעולה הנמשכת 2 עד 3 דקות. לאחר מכן מחזירים את העגלה ועוזבים את המקום.

ז. ההתפלגויות של המופעים וזמני השרות הם מלבניים, כלומר הסתברות שוה לכל נקודה בתחום המוגדר.

<u>מטרות</u> :

שיטת הדמוי היא אמצעי לנתוח מצבים מוכתבים ולא אמצעי לאופטימיזציה. אולם, כמו במקרה של אופטימיזציה עלינו לקבוע מראש מה אנו רוצים להשיג, ובהתאם לכך לדרוש מהתכנית שתספק לנו נתונים מתאימים. המשימה בתפעולו של הסופרמרקט היא שרות, ובהתאם לכך נדרוש:

1. רמת שרות של 95% בשרות הלקוחות הבאים לקחת עגלה לצורך קניותיהם. כלומר, לא יותר מ-5% יחכו לעגלה שתתפנה.

2. זמן הצפיה הממוצע של לקוח בתור של אחת הקופות לא יעלה על דקה אחת.

אם רמת השרות לא תתקיים במערכת הזו, יהיה צורך לשנות אחד מהמרכיבים (להגדיל מספר העגלות) ולהריץ שוב את המודל.

הנתונים הדרושים לשם בדיקת רמת השרות וקבלת החלטה בנדון הם:

- מצב הנצולת של העגלות והקופות
- ארכי התורים
- התפלגות שהית הלקוחות בסופרמרקט
- הזמן ימדד ביחידות של שניה

<u>תרשים הזרימה</u>

ראה שרטוטים: 1-V-5
1-V-6
1-V-7

נסקור את המודל בהתאם לתרשים.

- מהי התנועה? - התנועה היא הלקוח הנכנס לסופרמרקט
- מופע הלקוחות הוא כל 30 שניות בממוצע, כאשר הפזור סביב הממוצע הוא באקראי, בטווח של 30 ± שניות. כלומר, הזמן הבינמופעי הוא בין 0 עד 60 שניות והתפלגותו מלבנית.
- הלקוחות מצטרפים לתור בצפיה לקבלת עגלה. כאשר יש עגלה פנויה, הם לוקחים אותה <u>ואינם</u> מתעכבים.

מאגר העגלות מוגדר עם קבולת של 40 יחידות. כל עגלה שנלקחת גורמת להפחתה של יחידה אחת מהמאגר. אנו מתארים את תפישת העגלה כ"כניסת" לקוח למאגר. כאשר הלקוח ישחרר את העגלה כשסיים את קניותיו הוא "יצא" מהמאגר.

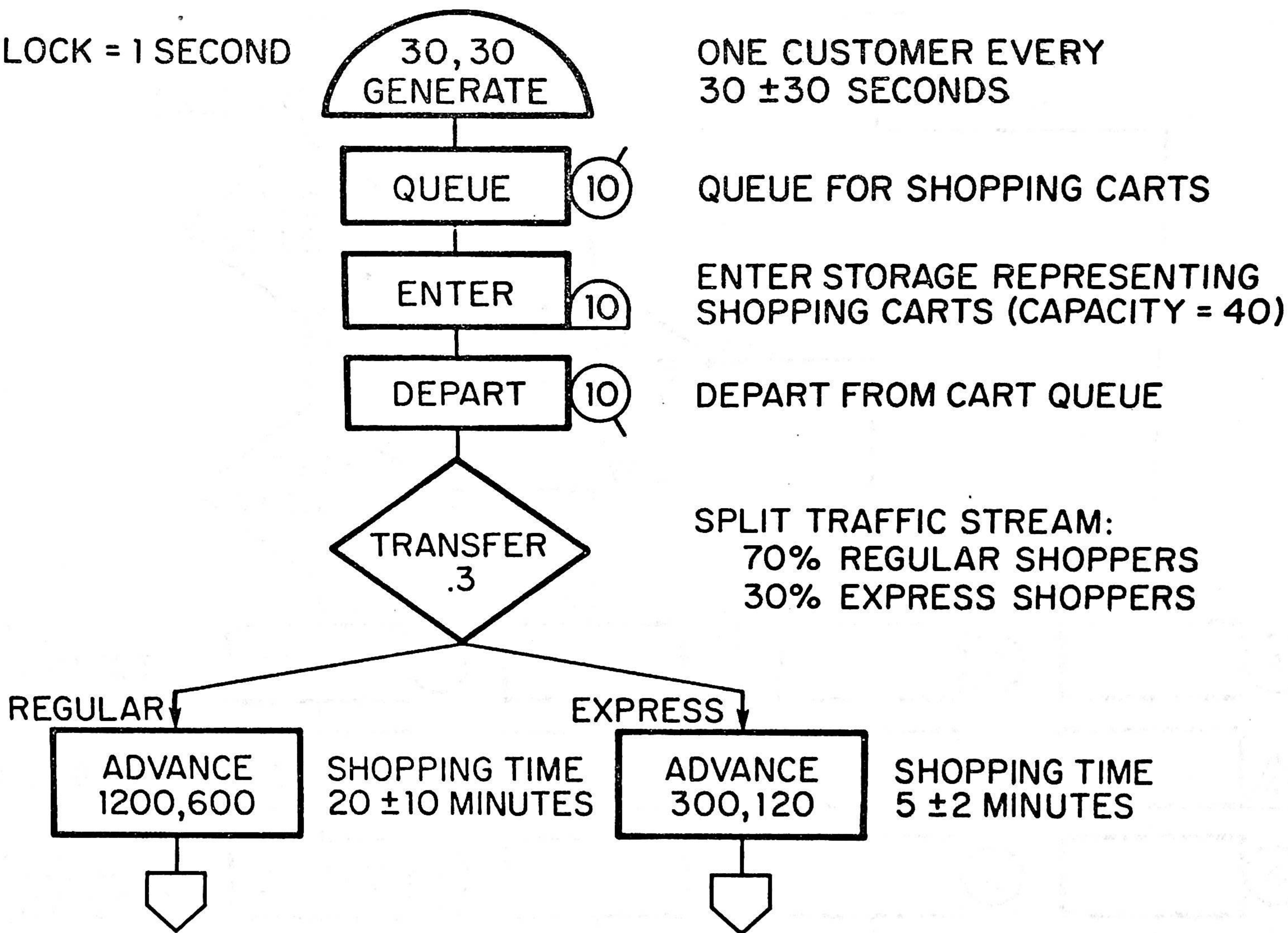
- לאחר תפישת העגלה עוזב הלקוח את התור לקבלת עגלה.
- בשלב זה יש לנו פעולת סיעוף, או הפרצה של התנודות, בהתאם לנתוני הבעיה: 70% של הלקוחות הם לקוחות רגילים וימשיכו במסלול הלקוחות הרגילים, בעוד אשר 30% יעברו למסלול הלקוחות האקספרס. בחירת הלקוחות לתנועה בשני מסלולים אלו הינה אקראית, תוך שמירת היחס הנזכר.

נעבור לבחון תחילה את מסלול לקוח האקספרס:

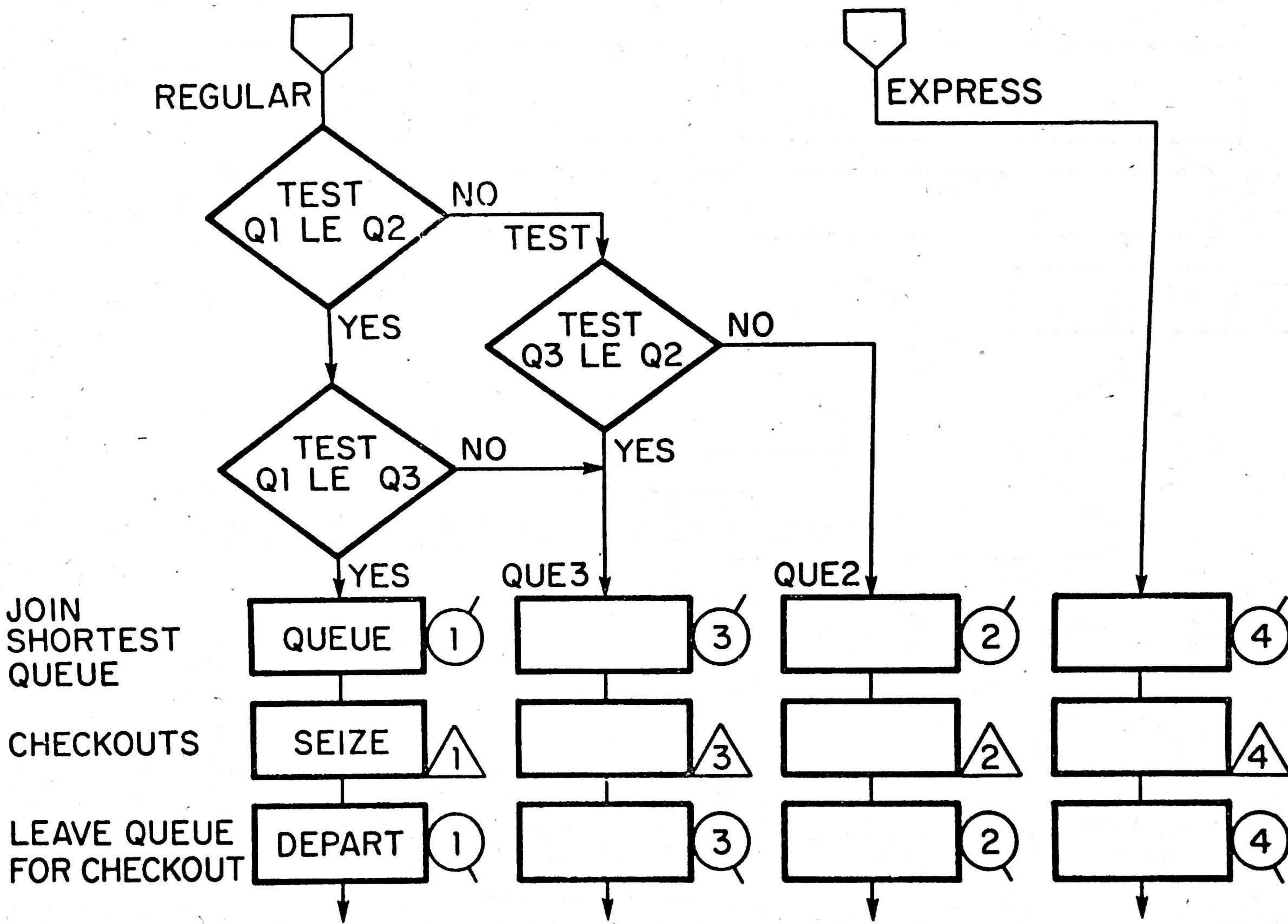
- לקוח האקספרס שוהה בחנות לשם קניה פרק זמן של 2 ± 5 דקות (כלומר ממוצע 5 ופזור של 2 ± דקות), שהם 120 ± 300 שניות.
- עם סיום הקניה הוא מצטרף לתור מספר 4, שנקבע שרירותית כתור המיועד לקופה מס. 4 שהיא קופת האקספרס.

אם הקופה פנויה והלקוח יכול לקבל שרות מיד הוא לא יעצר בתור ויתפוש את הקופה (מתקן). זמן השהיה בתור יהיה אפס.

SUPERMARKET PROBLEM BLOCK DIAGRAM – 1



SUPERMARKET PROBLEM BLOCK DIAGRAM – 2



SUPERMARKET PROBLEM BLOCK DIAGRAM – 3



- הלקוח המצפה או עובר בתור מנסה לתפוש את הקופה מס. 4
- לאחר תפישת הקופה הוא עוזב את מקומו בתור
- הקופאי משרת את הלקוח במשך 20 $\pm$ 45 שניות, לפי התפלגות מלבנית.
- עם סיום השרות משחרר הלקוח את הקופאי
- בשלב זה של סיום המסלול של הלקוח בחנות אנו מעונינים לקבל את סה"כ זמן התנועה שלו מרגע כניסתו. זמן זה יש לצבור בטבלה מס. 2 (של לקוחות אקספרס).
- לאחר מכן, משחרר הלקוח את העגלה שתפש בכניסתו, והיא חוזרת למאגר, שסימנו 10.
- הלקוח עוזב את המערכת, כלומר התנועה מתבטלת או מתחסלת.

עתה נחזור לנקודת הפרדה של הלקוחות ונעקוב אחר מסלול תנועתו של הלקוח הרגיל (שרטוט 5- V - 1).

- זמן השהיה בחנות הוא 10 $\pm$ 20 דקות שהם 600 $\pm$ 1200 שניות.
- עם סיום הקניות צריך הלקוח לבחור את הקופה אשר בה יקבל שרות. לצורך בחירה זו הוא בוחן את ארכי התורים, ואז יצטרף אל התור הקצר יותר.

הבחירה נעשית ע"י השואה של אורך התור 1 לתור 2 (בהתאמה למספרי הקופות). אם תור 1 קצר או שוה לתור מס. 2 (הסיעוף YES) הוא ישווה את אורכי התורים 1 ו- 3. אם תור 1 קצר או שוה לתור מס. 3 הוא יבחר בתור 1, אך אם תור 1 לא היה קצר או שוה לתור 3 הוא יבחר בתור 3.

כאשר ההשואה הראשונה של תור 1 לתור 2 הראתה שתור 1 איננו קצר או שוה לתור 2 (הסיעוף NO), ישווה הלקוח את ארכי התורים 2 ו-3. אם תור 3 קצר או שוה לתור 2 הוא יבחר בתור 3, ואם לא - הוא יבחר בתור מס. 2.

- לאחר שבחר הלקוח את התור הקצר ביותר הוא מצטרף אליו.
- הלקוח יתפוש את הקופאי 1, 3 או 2 בהתאמה ברגע שיתפנה.
- הלקוח ישחרר את התור שעמד בו. אם לא היה תור, זמן השהיה בתור יהיה אפס.

- השרות ללקוח רגיל נמשך 30 ± 75 שניות
- עם סיום השרות ישחרר הלקוח את הקופאי 3,1 או 2 בהתאמה.
- בשלב זה, מכיון שאנו ממשיכים לתאר את מסלולו של הלקוח העוזב את הקופה מס. 1, נפנה ע"י הוראת סיעוף את התכנית ממסלולי הקופות 3 ו-2 אל המסלול הזה, לטפול זהה בהמשך.
- נדרוש את רישום זמן השהיה של לקוח רגיל במערכת בטבלה מס. 1.
- כאן שוב אנו עומדים לפני הפרדת התנועות: 40% מהלקוחות הרגילים ישחררו את העגלה ויעזבו מיד את הסופרמרקט. 60% יחזיקו בעגלה ויצאו למגרש החניה לשם פריקה (שרטוט 7 - V-1).
- זמן הפריקה ימשך 60 ± 120 שניות.
- הלקוחות שהחזיקו בעגלות לפריקה ישחררו אותן ויעזבו את המערכת.
- כל עזיבה של המערכת פרושה חסול תנועה אחת.

לעתים נותנים משקל שונה לתנועות העוזבות את המערכת בשלבים שונים. כאשר תנועות מתאחדות, כמו במקרה של הרכבת חלקים, יהיה כל חסול שוה למספר החלקים שהורכבו יחד.

כתיבת המודל כקלט לתכנית הדמוי

ראה שרטוט 8 - V - 1.

תרשים הזרימה הינו תאור לוגי של הבעיה. כדי להזין את נתוני הבעיה לתכנית הדמוי יש לכתוב אותה ב"שפה" אשר תובן לה. שפת הדמוי מורכבת מסימני פעולה של הבלוקים בצרוף מספר הגדרות שונות. (טבלאות, מאגרים וכו'), והוראות פקוח שמטרתן לאפשר למשתמש לשלוט ולבקר את הבצוע של התהליך.

לפנינו קטע מן התכנית של המודל:

בצד שמאל, מספרים סדוריים של הבלוקים הפעילים (שים לב שחסר קטע בין בלוק מס. 7 לבלוק מס. 25). המספרים הסדוריים לבלוקים אלה ניתנים ע"י תכנית הדמוי בזמן העריכה של המודל. ההתיחסות לבלוקים השונים בהדפסי התכנית היא לפי מספרים אלו.

ההדפס של המודל ניתן בשלוש עמודות. השמאלית היא כתובת התיחסות (לשם סיעוף מבלוק אחד למשנהו), העמודה האמצעית היא תאור הפעולה והימנית ביותר - פרמטרים של כל בלוק. כל פרמטר מופרד ממשנהו בפסיק. מימין לרשימת הפרמטרים אפשר להוסיף הערות.

PROGRAM INPUT

BLOCK NUMBER	*LOC	OPERATION	A,B,C,D,E,F,G
	10	STORAGE	40
	1	TABLE	M1,600,30,50
	2	TABLE	M1,180,30,50
1		GENERATE	30,30
2		QUEUE	10
3		ENTER	10
4		DEPART	10
5		TRANSFER	.300,REG,EXP
6	REG	ADVANCE	1200,600
7		TEST LE	Q1,Q2,TEST
⋮		⋮	⋮
25		TRANSFER	,TAB
26	QUE2	QUEUE	2
27		SEIZE	2
28		DEPART	2
29		ADVANCE	75,30
30		RELEASE	2
31		TRANSFER	,TAB
32	EXP	ADVANCE	300,120
33		QUEUE	4
34		SEIZE	4
35		DEPART	4
36		ADVANCE	45;20
37		RELEASE	4
38		TABULATE	2
39		TRANSFER	,RET
		START	200,NP
		RESET	
		START	1000

שלוש השורות הראשונות הן הגדרות:

א. מאגר (STORAGE)בעל קבולת מירבית של 40 יחידות. סימנו בתכנית 10 (אפשר לתת לו גם שם כמו Pool למשל).

ב. שתי טבלאות שסימנן 1, ו - 2 לרישום זמני השהות של התנועות במערכת (M1). על תאור הרבלאות נעמוד בהמשך.

הבלוקים הראשונים מתארים את חלקו הראשון של תרשים הזרימה הכולל את היצירה של התנועות, התור לעגלות, תפישת העגלות עד להפרדת מסלוליהם של לקוחות האקספרס מהלקוחות הרגילים. ההפרדה הזו הינה הוראת TRANSFER. 70 אחוזים ינועו במסלול REG ו-30 אחוזים (0.300) במסלול של EXP . השמות REG ו- EXP הם שמות של בלוקים בתכנית, או תחילת המסלול של לקוחות רגילים ולקוחות אקספרס.

בשורה 6 נרשמה פעולת הקניה של הלקוחות הרגילים הנמשכת 600 ± 1200 שניות.

בשורה 7 בוחן הלקוח אם להצטרף לתור 1 או 2, בהתאם לארכיהם.
טורה 26 מייצגת את ההצטרפות לתור 2, הצפיה בתור, תפישת הקופאי, זמן עריכת החשבון, והשורה 31- את הוראת ההסתעפות לכתובת TAB לסיום התהליך (כתובת זו חסרה בין שורות 7 ו-25). מסלול לקוחות האקספרס ניתן החל משורה 32. עם סיום הפעילות של הלקוח אנו מבקשים רישום של זמן השהות שלו בטבלה מס.2. זמני התנועה של הלקוחות הרגילים ירשמו בטבלה מס.1.

שלוש השורות האחרונות הן הוראות בצוע.
הראשונה מבקשת לחסל 200 תנועות במסלול, ולא לתת כל הדפסה מתהליך זה (NP). לאחר מכן ניתנת הוראה RESET . הוראה זו מיועדת לשנות מצבי תלות אולם לא מצבים עובדתיים. לדוגמה: המונה היחסי של ההרצה יחזור ל-0. אולם ארכי התורים לא ישתנו וכן לא תשתנה תפישת המתקנים.

ההרצה הכפולה מיועדת להביא את המודל למצב מאוזן של תעסוקה לפני הרצת המדגם. אם לא היינו עושים זאת, היה המדגם בוחן מצב של מערכת פנויה, למשל בעת הפתיחה בבוקר, וזה לא היה מייצג דבר לגבי העומס, כאשר עגלות וקופות תפושות ע"י הלקוחות הנוכחים בחנות.

פלט הרצת תכנית הדמוי

נתאר את ההדפסים הסטנדרטיים המתקבלים בסיום הרצת התכנית וכמו כן את הדפסי הטבלאות. קיימים הדפסים נוספים, בהתאם לדרישות המתכנן כמו למשל סטטיסטיקה על זרימת התנועות הבודדות במערכת, או תכולת מונים שונים בזמן בצוע התכנית.

בלוקים

ראה שרטוט 9 -V- 1.

התכנית נותנת את מצב השעון האבסולוטי, מתחילת ההרצה ואת מצב השעון היחסי. המצב היחסי הוא מהוראת RESET האחרונה. השעון ניתן ביחידות הזמן של המודל.

הפלט לכל בלוק כולל:

א. מספר הבלוק - כפי שנקבע ע"י תכנית הדמוי בשעת עריכת המודל.
ב. מספר התנועות בבלוק בזמן סיום המהלך (מצב רגעי)
ג. מספר כולל של תנועות שעברו בבלוק מאז תחילת ההרצה או מאז הוראה RESET .

נוכל להבחין שאמנם עזבו את המערכת 1000 תנועות (בלוקים 18,17) כפי שבקשנו בהוראת START השניה. למערכת נכנסו 1009 תנועות. (בלוק מס.1).

מתקנים

ראה שרטוט 10 -V- 1.

במודל זה המתקנים הן הקופות, ועל כן הדוח הזה מתאר את הפעלת הקופות ונצילותן.

BLOCK STATISTICS

RELATIVE BLOCK 30081 ABSOLUTE CLOCK 35704

BLOCK COUNTS

BLOCK	CURRENT	TOTAL	BLOCK	CURRENT	TOTAL	BLOCK	CURRENT	TOTAL
1	0	1009	11	0	358	31	0	97
2	2	1009	12	1	358	32	3	304
3	0	1007	13	0	357	33	0	301
4	0	1007	14	0	700	34	0	301
5	0	1007	15	0	700	35	0	301
6	30	728	16	1	431	36	1	301
7	0	698	17	0	1000	37	0	300
8	0	367	18	0	1000	38	0	300
9	1	359	19	0	331	39	0	300
10	0	358	20	1	247			

FACILITY STATISTICS

FACILITY NUMBER	AVERAGE UTILIZATION	NUMBER ENTRIES	AVERAGE TIME/TRANS	SEIZING TRANS. NO.	PREMPTING TRANS. NO.
1	.902	358	75.801	6	
2	.240	97	74.577		
3	.616	247	75.121	33	
4	.454	301	45.385	10	

(Facility Numbers 1, 2, 3 - Regular Checkout)

(Facility Number 4 - Express Checkout)

הפרטים הם:

א. מספר המתקן

ב. תפושה יחסית של המתקן (מספר יחידות זמן שבהן היה המתקן תפוש מחולק בזמן המהלך)

ג. מספר תנועות שעברו במתקן (במקרה שלנו לא היתה חלוקה שוה בנצילות הקופות)

ד. זמן שרות ממוצע לתנועה (זמן זה מתאים לזמן הממוצע בהוראת ADVANCE).

שני הטורים האחרונים מהוים נתונים נוספים לצורך נפוי ובדיקת המודל ואין להם משמעות מעשית.

<u>מאגרים</u>

ראה שרטוט 11 - V - 1

בדוח זה מתקבלים נתונים על תפושת המאגר. בדוגמה זו, "תפושה" פרושה "נצול" או - מספר העגלות שנלקחו מהמאגר.
הנתונים המלאים הם: מספר המאגר; קבולת מקסימלית; תפושה ממוצעת; תפושה יחסית (ממוצע מחולק למקסימום); מספר כניסות למאגר מאז תחילת המאגר או מאז הוראת RESET ; זמן שהיה ממוצע של תנועה במאגר; תפושת המאגר בעת הפסקת המהלך; תפושה מקסימלית.

<u>תורים</u>

ראה שרטוט 12 - V - 1

במודל שלפנינו 5 תורים: לעגלות ולכל אחת הקופות. סטטיסטיקה נוספת לנתונים בטבלה זו אפשר לקבל ע"י רישום נתונים על התור בטבלאות כמו למשל עקומת התפושה של התור.
ההדפס הסטנדרטי כולל נתונים מקסימליים וממוצעים בלבד.
הנתונים הם:
מספר התור, תכולה מקסימלית; תכולה ממוצעת; סה"כ כניסות לתור; מספר "כניסות אפס"; אחוז כניסות אפס; זמן ממוצע של שהיה בתור; זמן ממוצע של שהיה בתור למעשה (ללא כניסות אפס); תכולה נוכחית בזמן הפסקת ההרצה. "כניסת אפס" הינה מעבר של תנועה דרך הבלוק של התור (QUEUE) מבלי שתתעכב, כלומר, זמן שהיה בתור שוה ל-0.

STORAGE STATISTICS

STORAGE NUMBER	CAPACITY	AVERAGE CONTENTS	AVERAGE UTILIZATION	ENTRIES	AVERAGE TIME/TRANS	CURRENT CONTENTS	MAXIMUM CONTENTS
10	40	36.072	901	1007	1077.562	39	40

SHOPPING CARTS

QUEUE STATISTICS

QUEUE NUMBER	MAXIMUM CONTENTS	AVERAGE CONTENTS	TOTAL ENTRIES	ZERO ENTRIES	PERCENT ZEROS	AVERAGE TIME/TRANS	$AVERAGE TIME/TRANS	CURRENT CONTENTS
1	2	.512	359	66	18.3	42.933	52.604	1
2	1	.075	96	51	53.1	23.770	50.711	
3	2	.247	247	107	43.3	30.157	53.207	1
4	3	.148	301	183	60.7	14.790	37.728	
10	12	.526	1009	831	82.3	15.690	88.943	2

$ AVERAGE TIME/TRANS = AVERAGE TIME/TRANS EXCLUDING ZEROS

TIME IN SYSTEM - REGULAR SHOPPERS

TABLE 1

ENTRIES IN TABLE	MEAN ARGUMENT	STANDARD DEVIATION	SUM OF ARGUMENTS	
700	1327.464	344.000	929225.000	Non-Weighted

UPPER LIMIT	OBSERVED FREQUENCY	PERCENT OF TOTAL	CUMULATIVE PERCENTAGE	CUMULATIVE REMAINDER	MULTIPLE OF MEAN	DEVIATION FROM MEAN
600	0	.00	.0	100.0	.451	-2.114
630	0	.00	.0	100.0	.474	-2.027
660	0	.00	.0	100.0	.497	-1.940
690	4	.57	.5	99.4	.519	-1.853
720	7	.99	1.5	98.4	.542	-1.765
750	18	2.57	4.1	95.8	.564	-1.678
780	11	1.57	5.7	94.2	.587	-1.591
1830	13	1.85	93.1	6.8	1.378	1.460
1860	16	2.28	95.4	4.5	1.401	1.548
1890	10	1.42	96.8	3.1	1.423	1.635
1920	12	1.71	98.5	1.4	1.446	1.722
1950	5	.71	99.2	.7	1.468	1.809
1980	2	.28	99.5	.4	1.491	1.896
2010	2	.28	99.8	.1	1.514	1.984
2040	1	.14	100.0	.0	1.536	2.071

REMAINING FREQUENCIES ARE ALL ZERO

TIME IN SYSTEM - EXPRESS SHOPPERS

TABLE NUMBER 2

ENTRIES IN TABLE	MEAN ARGUMENT	STANDARD DEVIATION	SUM OF ARGUMENTS	
300	376.039	86.062	112812.000	Non-Weighted

UPPER LIMIT	OBSERVED FREQUENCY	PERCENT OF TOTAL	CUMULATIVE PERCENTAGE	CUMULATIVE REMAINDER	MULTIPLE OF MEAN	DEVIATION FROM MEAN
180	0	.00	.0	100.0	.478	-2.277
210	1	.33	.3	99.6	.558	-1.929
240	10	3.33	3.6	96.3	.638	-1.580
270	26	8.66	12.3	87.6	.718	-1.232
300	33	10.99	23.3	76.6	..797	-.883
330	26	8.66	31.9	68.0	.877	-.534
360	37	12.33	44.3	55.6	.957	-.186
390	33	10.99	55.3	44.6	1.037	.162
420	39	12.99	68.3	31.6	1.116	.510
450	38	12.66	80.9	19.0	1.196	.859
480	21	6.99	87.9	12.0	1.276	1.207
510	21	6.99	94.9	5.0	1.356	1.556
540	6	1.99	96.9	3.0	1.436	1.905
570	1	.33	97.3	2.6	1.515	2.253
600	4	1.33	98.6	1.3	1.595	2.602
630	2	.66	99.3	.6	1.675	2.950
660	2	.66	100.0	.0	1.755	3.299

REMAINING FREQUENCIES ARE ALL ZERO

הערות לבנית מודל הסופרמרקט

מודל הסופרמרקט הנו מודל פשוט יחסית. אין בו נתוחים מתמטיים או בעיות סבוכות לגבי פעילותם של הגורמים השונים במערכת ויחסי הגומלין ביניהן.

כך זה למראית עין. אולם גם במודל זה, שלא לדבר על מודלים סבוכים יותר, יש הנחות יסוד אחדות אשר בעקבותיהן נעשה המודל פשוט. כאשר מעמיקים לחקור את המודל אפשר להבחין בנקל באפשרויות רבות שלא נלקחו בחשבון.

אין צורך לקחת תמיד את כל הגורמים ואת כל האפשרויות. שיטת הדמוי מאפשרת לנו לערוך את הפתרון בשלבים, ללא השקעה גדולה. לאחר הצבת המודל הבסיסי אפשר לבחון את התוצאות המתקבלות מההרצה הראשונה, ואז להוסיף נתונים נוספים, להריץ את המודל שוב ולבחון שנית את התוצאות. ערכם של ההפרשים בתוצאות ההרצה של המודל יעזרו לנו לקבוע אם השנויים שהכנסו הם משמעותיים או חסרי חשיבות מכרעת.
טעות היא לחשוב שבמודל מורכב מכניסים את כל האפשרויות הקיימות. כשם שלא לוקחים בחשבון את כל האפשרויות בכל הערכה שעושים בין במחשבה, על הנייר, או במודל פיסי, כך לא עושים זאת גם במודל שמריצים במחשב. הצלחתו של המודל והתאמתו למציאות שאותה הוא בא לבחון תלויים במדה רבה בהתאמתם של השקולים העקרוניים של המערכת, ושלובם של השקולים המשניים שהשפעתם על התוצאה היא רבה ביותר.
גורם שני בר חשיבות באיכותו של הפתרון הוא מהימנותם והתאמתם של נתונים שונים למודל המעשי. הכוונה בעקר לזמני שרות, התפלגות מופעים וכו'.

נפרט חלק מההנחות שנלקחו בחשבון בבנית מודל הסופרמרקט:

1. מופע הצרכנים אינו תלוי בשעות היום
2. כל לקוח שלוקח עגלת קניות הוא בהכרח קונה. לקוח אינו נכנס לקניות ללא עגלה.
3. אין לקוחות עוזבים בגלל שהיה בלתי צפויה בתור לעגלות.
4. אין התאמה בין זמן הקניה לזמן התשלום. בדרך כלל - יש התאמה, לפי מספר הפריטים שנקנו. למספר הקונים בחנות יש גם כן השפעה על זמן הקניה.

5. ללקוחות אקספרס לא ניתנת אפשרות להשתמש בקופות הרגילות - גם אם הן פנויות ולהיפך.
6. ההחלטה על בחירת התור נעשית לפי מספר האנשים בתור. למעשה - יש לכלול בהחלטה גם את מספר הפריטים.
7. הפניה לתורים היא לפי הסדר 1, 3, 2, אע"פ שלקוחות פונים בדרך כלל לתור הקצר ביותר לא לפי סדר קבוע.
8. הלקוח המקבל שרות בקופה אינו רשום בתור שלה, ולכן יתכן שלקוח חדש יפנה לתור מסויים ליד קופה עסוקה אע"פ שבתור אחר גם הקופה פנויה.
9. אין החלפה של תור. לקוח שהחליט על תור מסויים אינו עוזב אותו גם אם המצב במערכת משתנה (תור אחר מתקצר יותר מהר מהתור בו הוא נמצא).
10. 4 קופות פתוחות כל היום וכל הקופאים עובדים בקצב אחיד.
11. כל ההתפלגויות מלבניות
12. העגלות מוחזקות עד לסיום התשלום בקופה. לקוחות אקספרס אינם לוקחים את העגלה לשם פריקה במכונית.
13. עגלות שנלקחות לפריקה מוחזרות מיד לשרות, ללא עכוב כלשהוא.
14. מצב מאוזן מתקבל לאחר 200 לקוחות שעברו בחנות. 1000 לקוחות לאחר נקודה זו מהוים מדגם מיצג.

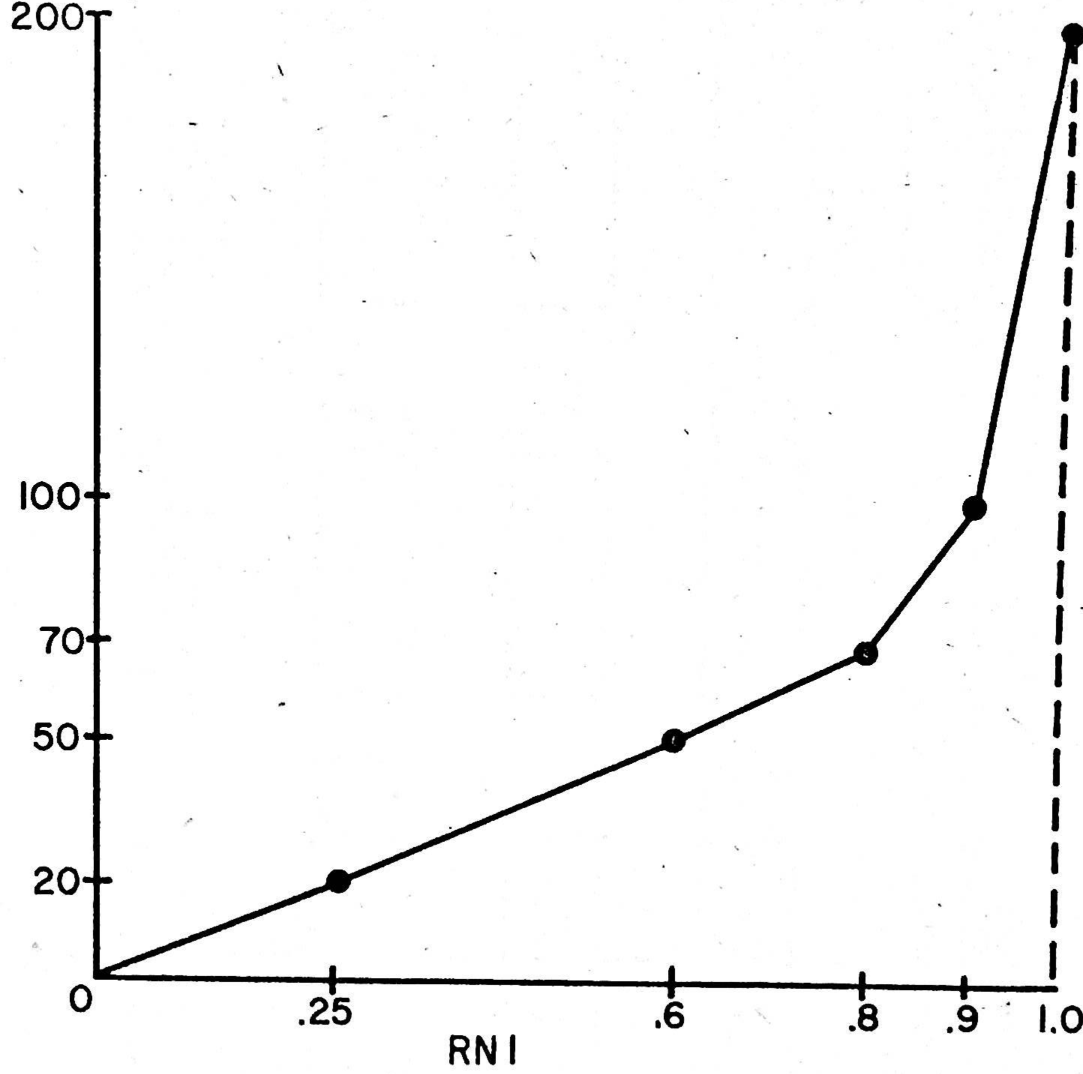
השלמות לבעית הסופרמרקט

מודל הסופרמרקט, כפי שתואר קודם, מניח שאין תלות בין זמן הקניה לזמן הדרוש לשם עריכת החשבון אצל הקופאי; וכמו כן - שבחירת התור הקצר נעשית רק לפי מספר הלקוחות בתור, בהתעלמות ממספר הפריטים.

נציג כעת דוגמה שבה נקח בחשבון את מספר הפריטים שנקנו, לשם בחירת התור.
ראה שרטוטים: 2 -V-4
3 -V-4

את מספר הפריטים שנקנו ע"י כל לקוח נקבל מתוך התפלגות של פונקציה מצטברת רציפה. נוכל להניח (שוב הנחה!) שמספר הפריטים יתנהג בין 1 ל-200 ובחירת מספר הפריטים שיקנה ע"י כל לקוח תעשה בעזרת RN1 - אחת הטבלאות למספרים אקראיים שיוצרת תכנית הדמוי.

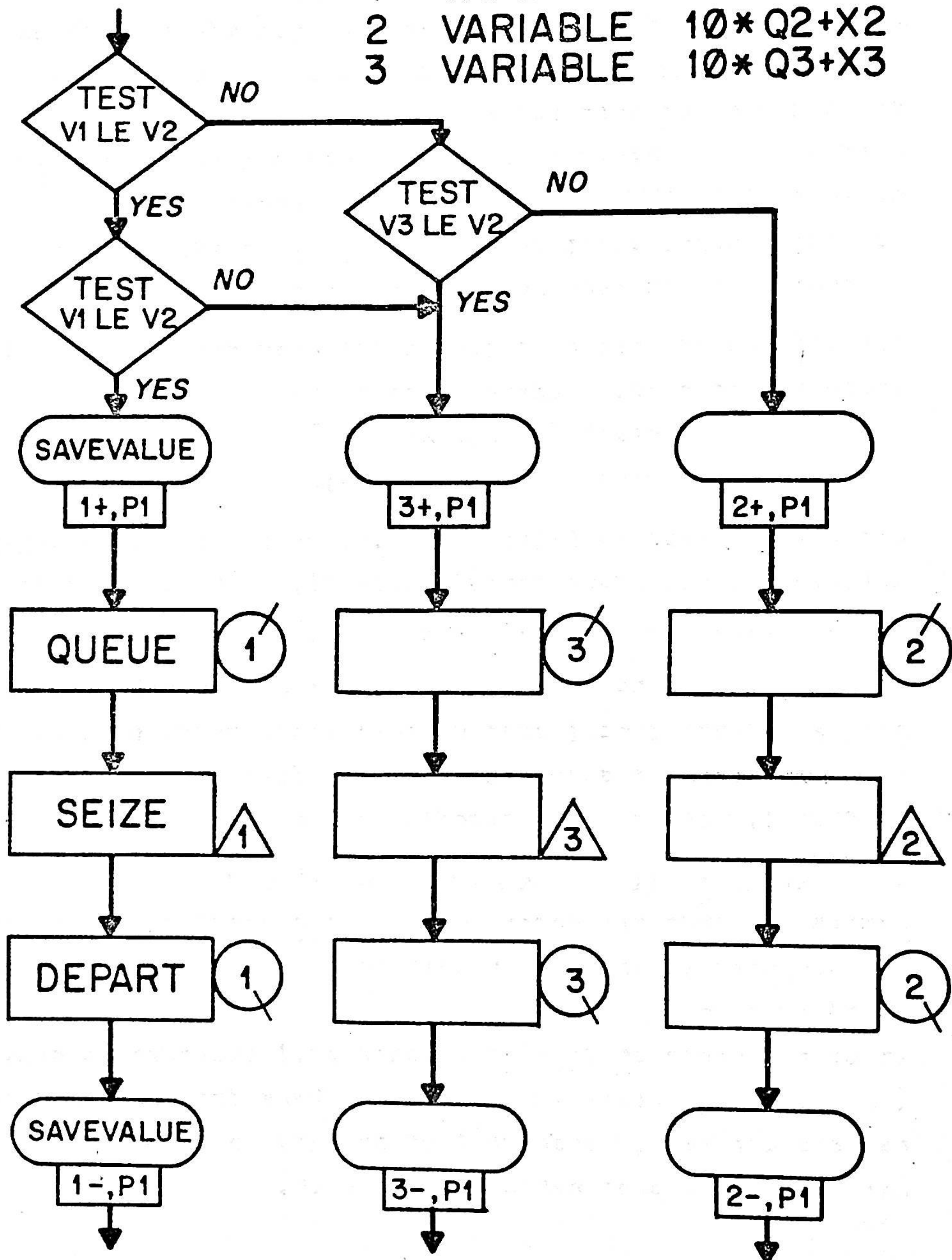
CONTINUOUS DISTRIBUTION
NUMBER OF ITEMS PURCHASED



ITEMS FUNCTION RNI, C6

(1 card follows to define points)

DETERMINE SHORTEST QUEUE



שים לב לכך שההסתברות לקנית מספר פריטים כלשהוא (ציר 4) ניתנת בצור האפקי (ציר x), בהתאם לנקודת החתוך על העקומה.
כדי להצמיד לכל לקוח את מספר הפריטים שקנה עלינו לרשום את הבלוק/ ההוראה ASSIGN 1,FN1 בכל מקום שהוא בין בלוק היצירה של התנועות לבלוק הבחירה של התור שאליו יצטרף הלקוח.
ההוראה תעביר לפרמטר 1 של התנועה העוברת בבלוק את ערך הפונקציה 1 (FN1). בחירת הערך תהיה אקראית.
אם רוצים להשתמש בנתון זה לשם קביעת זמן הקניה, עלינו לרשום בלוק זה בתחילת התכנית לאחר בלוק היצירה של התנועות.

כדי לחלק את הלקוחות לשתי קבוצות לפי מספר הפריטים שהם קונים, נוכל לרשום את הבלוק מס. 5 במודל בצורה שונה.

במקום: TRANSFER .3,REG,EXP

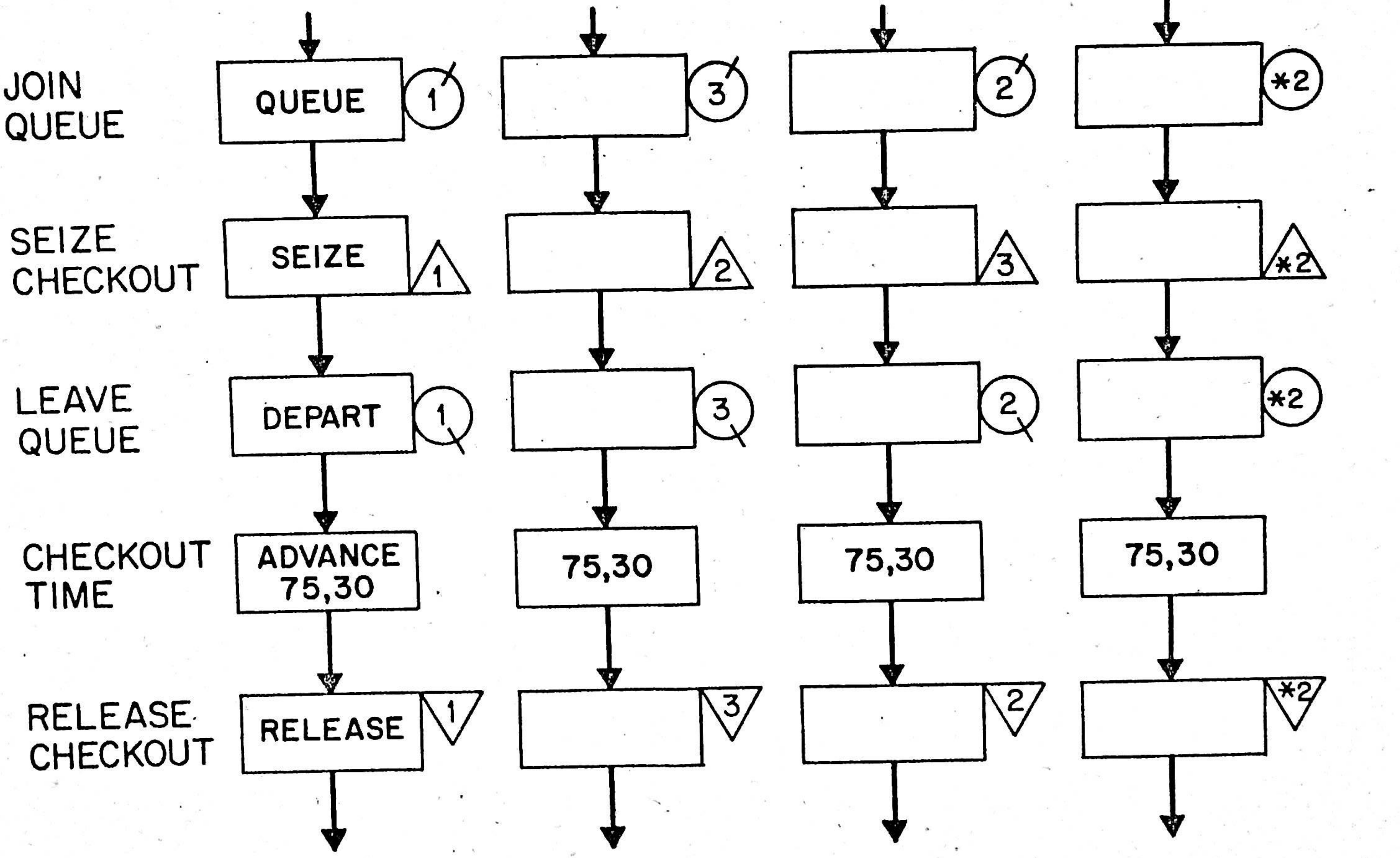
נרשום: TEST G P1,6,EXP

כלומר - אם המספר ב- P1 (מספר הפריטים שנקנו, בהתאם ל- ASSIGN) גדול מ-6 (שנקבע כמספר הפריטים הגבולי), יש להמשיך במסלול הרגיל - בבלוק העוקב. אם המספר ב- P1 קטן מ-6, יש לעבור למסלול EXP(אקספרס).

בחירת התור לפני הקופות לא תעשה רק לפי מספר הלקוחות העומדים בכל תור, אלא ילקחו בחשבון מספר הלקוחות ומספר הפריטים שקנו. לשם כן נגדיר עבור כל תור משתנה שבו ינתן לכל לקוח משקל של 10 ולכל פריט משקל של 1. בחירה זו של המשקלים הינה רצונית.

נגדיר עבור תור 1: 1 VARIABLE 10*Q1+X1

המשתנה אשר ישמש לנו להשואת התורים יהיה מורכב משקלול של מספר הלקוחות בתור (מספר הלקוחות כפול 10) ומספר הפריטים המוחזקים אצל כל הלקוחות בתור.
את מספר הפריטים של כל הלקוחות בתור מס.1 נצבור במונה מס.1 (SAVEVALUE)שכנויו X1. כאשר לקוח מצטרף לתור נוסיף את מספר הפריטים שלו (שילקח מהפרמטר 1 של התנועה) למונה, וכאשר יעזוב את התור - נחסר את מספר הפריטים שלו מהמונה.


NO INDIRECT SPECIFICATION
WITH INDIRECT SPECIFICATION
JOIN QUEUE
SEIZE CHECKOUT
LEAVE QUEUE
CHECKOUT TIME
RELEASE CHECKOUT
QUEUE
SEIZE
DEPART
ADVANCE 75,30
RELEASE
1
3
2
*2
75,30
2,1
ASSIGN
2,3
2,2

שנוי נוסף שאפשר להוסיף יהיה בתחום צורת הכנת התרשים.
אפשר להבחין בנקל שיש חזרה על סדרת בלוקים/הוראות זהה עבור
כל אחת משלוש הקופות הרגילות. ראה תרשים 4 - V-4.
נוכל לצמצם את הכתיבה ע"י שמוש בשיטת ההתיחסות העקיפה
(INDIRECT SPECIFICATION). לשם כך נצרף לכל תנועה (לקוח) את מספר התור
שבחרה בו. למעשה אפשר לראות זאת כהצמדת תוית עם מספר התור.
נשמש שוב בהוראה ASSIGN, אולם הפעם היא תתן ערך קבוע ולא ערך
שנלקח מתוך פונקציה. הערך ינתן לפרמטר 2 של התנועה.
עבור התנועה שבחרה בתור לקופה 1 נרשום: ASSIGN 2,1.

ההתיחסות לנתון אשר ב- P2 היא ע"י 2*, כמו למשל QUEUE *2 שפרושו
"תפוש תור שמספרו נקלח מתוך פרמטר 2 של התנועה".

יש להדגיש שעבור תכנית הדמוי אין חשיבות לשנוי זה, השנוי הוא של
שיטת הכתיבה והוא מיועד לנוחיות המשתמש. צורה זו מאפשרת שליטה
טובה יותר על התכנית והיא גמישה מאד כאשר יש להכניס שנויים ותקונים.

עד כאן התוספות שהוכנסו לתכנית, אולם אפשר, ללא קושי מיוחד לשנות
גם את זמני השרות של הקופאים לפונקציה של מספר הפריטים ועוד.

נפוי המודל

המושג "נפוי" מתיחס לכל אותן הפעולות הנעשות על ידי המתכנן כדי להוציא את השגיאות הטכניות והלוגיות מן התכנית שהכין, ולהביאה למצב שתהיה נכונה מבחינה לוגית ותענה על כל האפשרויות שהוכנסו בה ללא תקלה כלשהיא.

הנחיות והערות ראה בפרק:

Practical Suggestions on the use of GPSS/360

בחוברת : Users' Manual

להלן ניתנות מספר הנחיות כלליות למתכנן:

במודלים גדולים יש לעתים קשיים בנפוי. הקשיים נובעים עקב התנועות השונות והרבות הנעות במערכת ועקב ההרכב הלוגי המסובך של המודל. כדי לאפשר למתכנן לעקוב אחר השנויים במודל תוך כדי הרצתו, ולהבטיח את ההרצה מפני לולאות אינסופיות (Loop) אפשר לקבל הדפסים מיוחדים המשקפים תוצאות חלקיות בשלבים שונים של ההרצה. רצוי כמובן להמנע מהדפסה מיותרת אשר יכולה רק להכביד על הבדיקה ולא להקל עליה.

1. תצלום רגעי (SNAP)בהוראה START –
הדפס סטנדרטי של תכנית הדמוי (מצב בלוקים, מתקנים, מאגרים, טבלאות) וכן גם הדפס שרשרות האירועים הקיימים, הארועים העתידיים וכן שרשרות המשתמש. ההדפס הסטנדרטי ניתן תמיד בסוף ההרצה והדפס השרשרת ניתן לפי בקשה בלבד.
לדוגמה:

START 1000,,200,1

בקשת הרצה למשך זמן בו תעזובנה 1000 תנועות את המערכת.
לאחר יציאה של כל 200 תנועות יש לקבל הדפס סטנדרטי מלא וכמו כן (עקב הציון 1 בפרמטר הרביעי של ההוראה) גם את שרשרות האירועים של התנועות.
ההוראה START ניתנת בסוף התכנית, כהוראת בקרה לתכנית הדמוי.

2. ההוראה PRINT -

הדפס של SNA כלשהוא, כמו למשל שרשרות האירועים, מצב תורים, תכולת מונים, הדפסים סטנדרטיים של הבלוקים או של מצב המתקנים והמאגרים.

לדוגמה:

PRINT 106,106,S

בקשת הדפס סטנדרטי של מאגר (STORAGE) מס. 106.

את ההוראה PRINT אפשר להציב במקום כלשהוא בתרשים, ללא הגבלות.

3. ההוראה TRACE -

הדפס של נתוני התנועה במעברה מבלוק אחד למשנהו. לכל מעבר שורה נפרדת. הוראה זו תשמש בעקר לבדיקת מסלולים קצרים מכיון שהיא בזבזנית בצריכת זמן מחשב, לעומת זאת יעילותה רבה. ההדפס מספק נתונים מלאים על התנועה, בדומה להדפס הניתן בשרשרות האירועים.

האינפורמציה על כניסת תנועה לבלוק ועל הבלוק הבא שהיא עוברת אליו מאפשרת לאתר לולאות תכנות (Loop) בלתי רצויות או לוגיקה בלתי רצויה של המסלול.

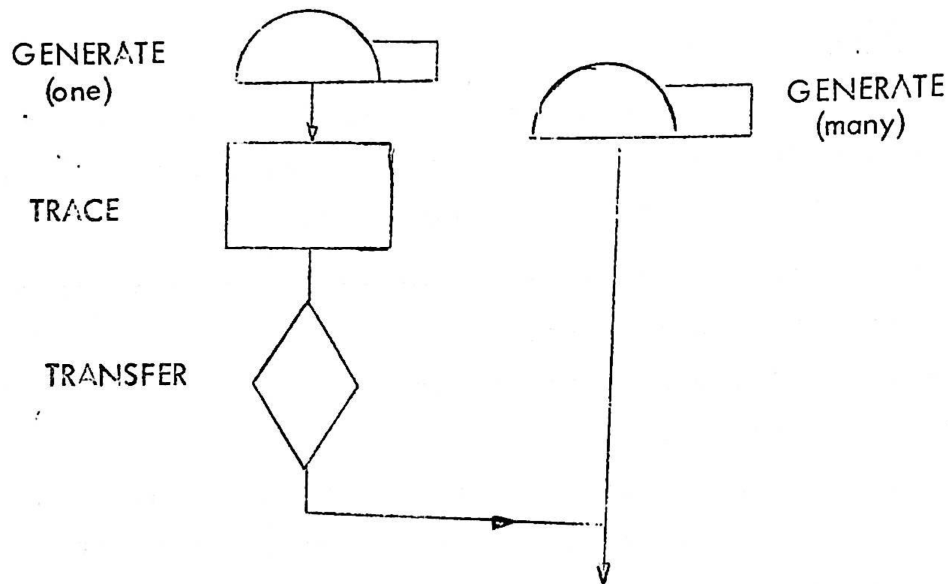
זהוי תנועות הנלכדות בלולאה אינסופית במסלול בלוקים בעלי זמן אפס (כלומר ללא ADVANCE) הדפס תוכן הפרמטרים ועדיפות התנועות מאפשרים לבדוק אם הצבת הנתונים נעשתה בהתאם למתוכנן.

בכל שורה מודפס גם זמן השעון שבו נעשתה הפעולה.

כאשר תנועה עוברת בבלוק TRACE, היא מקבלת סימן זהוי מתאים. כל תזוזה שלה תודפס כמתוכנן. כדי להגביל את ההדפסה ולהפסיקה כאשר היא לא נדרשת קיימת ההוראה UNTRACE המבטלת את הסימן הזה.

כדי לבדוק מסלול של תנועה אחת בלבד מקובל להציב בלוק GENERATE נפרד וליצר בו תנועה אחת בלבד, להעבירה דרך בלוק TRACE ומיד להעבירה למסלול הרגיל של התנועות.

לדוגמה:



<u>עריכת הדפסים של תכנית הדמוי</u> (Output Editor)

בתכנית הדמוי הכללית משולבות תכניות המאפשרות לערוך את הפלט בצורה שונה מהעריכה הסטנדרטית.

האפשרויות השונות הכלולות במסגרת זו הן:

1. בחירה של הפלט הסטנדרטי שרוצים להדפיס. לדוגמה: להדפיס רק את מצב המתקנים והמאגרים, ולא להדפיס את מצב המונים, הבלוקים ועוד.
2. עריכת כותרות לסעיפים השונים שבהדפסה הסטנדרטית והוספת הערות.
3. עריכת ההדפסה עם רוחים, דלוג דפים ואף סדור שונה של סעיפי ההדפסה.
4. הצגה של SNA בצורה גרפית, במערכת צירים דו-ממדית. אפשר לתאר היסטוגרמים, או פונקציות בדידות.

פרוט ודוגמאות לעריכת הדווח ראה בנספח לחוברת Users' Manual .

הוראות בקרה שונות

1. SIMULATE - הוראה זו תופיע בראש כל תכנית מודל. כאשר היא מופיעה תעשה הרצת הדמוי. אם הוראה זו נעדרת מתכנית המודל, תעשה בדיקת התכנית בלבד. (Assembly).

2. END - הוראה זו תבוא בסיום תכנית המודל או קבוצת המודלים הנפרדים אשר מוזנים להרצה אחת במחשב.

3. JOB - כאשר מריצים בזה אחר זה מספר מודלים שונים יש להפריד ביניהם ע"י הוראה זו.

4. RESET - בהוראה זו משתמשים באשר רוצים להביא את המערכת ליציבות פעולה כלשהיא, ורק אז לערוך את ההרצה לשם בדיקת המודל. לשם כך, מריצים את המודל לפרק זמן מסויים ואז מבצעים את ההוראה RESET , ע"י הוראה זו מבטלים את הסטטיסטיקות שנצברו, את הנתונים על נצילות מתקנים, מאגרים ותורים, את טבלאות השכיחות, ואת מוני הצבירה לבלוקים. המונים של המערכת, תכולת תורים ומאגרים, מצב מתגים לוגיים והתניות אחרות אינם מוחלפים. לאחר מכן מריצים שוב את המודל, לפרק הזמן הרצוי לשם צבירת נתונים לנתוח המודל.

לדוגמה: בסיום תכנית המודל תנתנה ההוראות הבאות:

```
START    200,NP
RESET
START    1500
```

- הרצה למשך זמן בו תעזובנה 200 תנועות את המערכת. בסיומה של הרצה זו לא ינתן ההדפס הסטנדרטי המקובל, עקב ההוראה NP בפרמטר השני.
- RESET
- הרצה לשם נתוח המודל, למשך זמן בו תעזובנה 1500 תנועות את המערכת.

5. CLEAR – הוראה זו מבטלת את כל התנועות מהמערכת, מבטלת את הסטטיסטיקות ומאפסת את כל המונים. (גם Savevalues).
אין צורך להציב הוראה זו לפני ההוראה START הניתנת בפעם הראשונה.

הנחיה למתכנן: הקפד לקרוא את הסעיפים המתיחסים להוראות RESET ו- CLEAR בחוברת Users' Manual.
חוסר תשומת לב להשלכותיהן של ההוראות על המודל עלולות לשבש את הלוגיקה ואף לגרום לתקלות בהרצה.

6. JOBTAPE – הוראה זו, מלווה במספר הוראות נוספות, מאפשרת ליצור תנועות ע"י תכנית אחת ולהזינן להרצות חוזרות במודלים שונים.

7. HELP – הוראה זו מאפשרת למתכנן לתכנת שגרות בשפות תכנות שונות ולשלבן לשם תפעול במסגרת המודל שבנה.

ס י כ ו ם

תכנית GPSS /300 מופעלת במחשבי י.ב.מ./360 [illegible] שתי מערכות הפעלה שונות.
הבדל זה אינו מתיחס ללוגיקה של התכנית אלא לשיטת התפעול בלבד.
הבדל נוסף הוא גודל מערכת המחשב.

1. מהדורת D.O.S.
מספר התכנית 360A-CS-19X
זכרון מינימלי 64K
זכרון עזר 2 כונני דיסקים מגנטיים 2311 (כולל מערכת ההפעלה).

2. מהדורת O.S.
מספר התכנית 360A-CS-17X
זכרון מינימלי 128K
זכרון עזר 2 כונני דיסקים מגנטיים 2314/2311 (כולל מערכת ההפעלה)

להלן רשימת החוברות בנושא זה:

1. GPSS/360 - Application Description (H20-0186)

הסבר על מטרות הפעלת תכנית דמוי עם מספר דוגמאות.

2. GPSS/360 - Introductory User's Manual (H20-0304)

חוברת בסיסית המסבירה את מבנה תכנית הדמוי ונותנת דוגמאות לשם כתיבת מודלים פשוטים.

3. GPSS/360 - User's Manual (H20-0326)

החוברת העיקרית המתארת באופן יסודי את תכנית הדמוי ואפשרויותיה. דוגמאות רבות והסברים המיועדים לכל המשתמש באופן אינטנסיבי בתכנית.

4. GPSS/360 - Operator's Manual

DOS - H20-0327

OS - H20 - 0311

חוברת המיועדת למפעיל המחשב, להכנת כרטיסי בקרה ותאור התפעול.

נספחים

במקרים רבים ניתן לתאר יחסי גומלין במערכת כקשר בין 2 משתנים. קשרים כאלה ניתן להגדיר ב- GPSS כפונקציה, שהנה אחד המרכיבים השמושיים ביותר של השפה.

פונקציה מגדירה קשר בין משתנה בלתי תלוי - אשר יכול להיות כמעט כל SNA - לבין משתנה תלוי FNj אשר אף הוא SNA , (מספר אקראי, ערך פרמטר של תנועה, שעון וכו׳.).

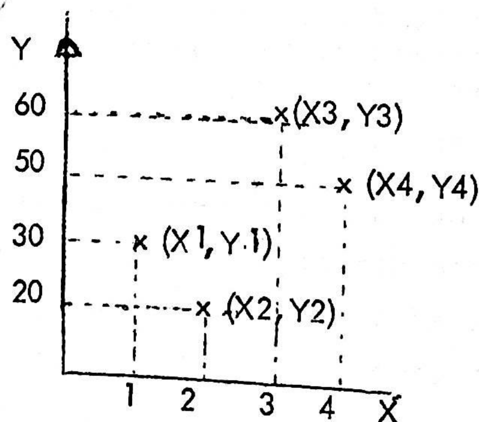
פונקציה יכולה להיות בדידה (D) או רציפה (C) ומוגדרת כזוגות של ערכים. כל זוג מכיל ערך המשתנה הבלתי תלוי (X_i) וערך המשתנה התלוי (y_i). קיימות פונקציות נוספות שעל תכונותיהם נעמוד בהמשך.

כדוגמה לפונקציות המתארות שני משתנים מספריים נתאר לעצמנו מערכת שבה קיימים 4 סוגים של חלקים המקבלים טפול ע"י טכנאי.

משך הטפול בסוג 1 :30 דקות
בסוג 2 :20 דקות
בסוג 3 :60 דקות
בסוג 4 :50 דקות

ניתן להגדיר פונקציה בה סוג החלק הוא המשתנה הבלתי תלוי (X_i) ומשך הטפול - המשתנה התלוי (Y_i). זוהי פונקציה בדידה - קיימים בה רק ערכים מסויימים של X ו- Y בתחום מסויים.

נתאר את הפונקציה באופן גרפי:



נניח שסוג חלק החילוף הוכנס לפרמטר מס. 8. P8 יהיה איפוא המשתנה הבלתי תלוי. כל פניה אל הפונקציה תהיה התיחסות אל המשתנה התלוי (זמן הטפול) המתאים למשתנה הבלתי תלוי אשר הוגדר בפרמטר 8 (סוג החלק).

הגדרת הפונקציה תעשה באופן הבא:

```
10      FUNCTION    P8,D4
1    30/2   20/3   60//4   50
```

השורה הראשונה מגדירה את הפונקציה באופן כללי.

10 – מספר סתמי הנתן לפונקציה (ההתיחסות לערכי הפונקציה תהיה FN10).

FUNCTION – מציין הגדרת פונקציה

P8 – המשתנה הבלתי תלוי, במקרה זה – פרמטר מס. 8

D4 – זוהי פונקציה בדידה בעלת 4 זוגות ערכים

<u>הערה</u>: לפונקציה אפשר לתת שם סמלי כגון RTIME וההתיחסות אליה תהיה FNØRTIME .

השורה השניה נותנת את זוגות ערכי הפונקציה.

X1 = 1, Y1 = 30 ; X2 = 2, Y2 = 20 וכו׳.
(ערכי X חייבים לבוא בסדר עולה משמאל לימין).

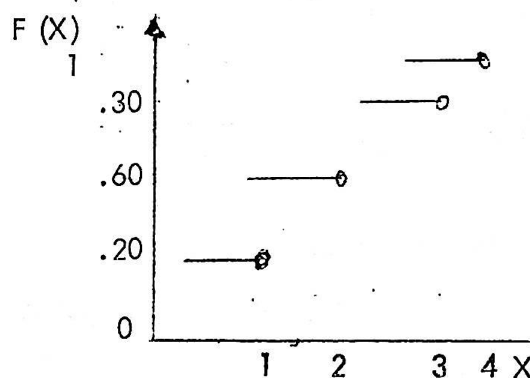
<u>דוגמה לשמוש בפונקציה</u>:

הצב בפרמטר 8 את המספר 3	ASSIGN P8,3
התנועה תופשת טכנאי	SEIZE TECH1
הטכנאי מטפל בתנועה פרק זמן הנתן ע"י פונקציה מס.10 (במקרה הספציפי 60 יח׳ זמן).	ADVANCE FN10
שחרור הטכנאי	RELEASE TECH1

אחד השמושים החשובים הפונקצית המודלים של סימולציה הוא בתאור פונקציות הסתברות. לעתים קרובות נתן לתאר התרחשות מאורעות במערכת על פי פונקצית הסתברות, על סמך נתונים סטטיסטיים שבידי בונה המערכת, בהנחה שהמאורע הוא משתנה מקרי.

אם נחזור לדוגמה של חלקי חילוף - נניח שידוע לנו כי 20% מחלקי החילוף המתקלקלים הם מסוג 1, 40% מסוג 2, 30% מסוג 3 ו-10% מסוג 4.

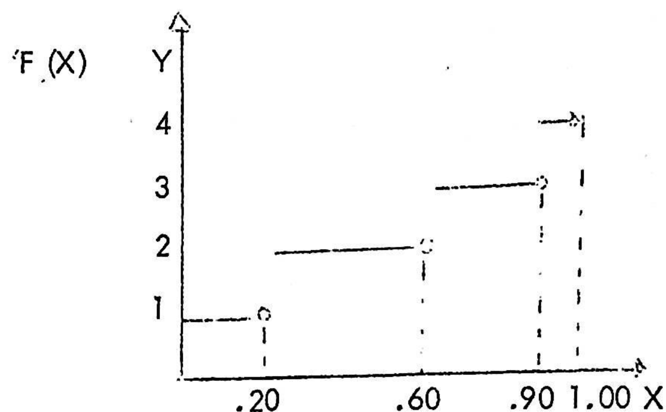
את פונקצית ההסתברות ניתן לתאר באופן גרפי. לצורך השמוש ב- GPSS נוח לתאר את פונקצית ההתפלגות (או ההסתברות המצטברת)



בתאור הנ"ל המשתנה המקרי X (או הבלתי תלוי) הוא סוג הקלקול.
פונקצית ההתפלגות מתארת את הקשר $F(X) = P(X \leq x)$
ז"א ההסתברות ש-X יהיה קטן או שוה לערך x.
x יכול לקבל את הערכים 1,2,3,4

כדי לייצר פונקצית הסתברות ב- GPSS נשתמש במספר אקראי RN כמשתנה בלתי תלוי. המערכת מייצרת לנו מספרים אקראים בתחום 0 עד 999 בהסתברות שווה. כאשר משתמשים במספרים האקראיים כמשתנה בלתי תלוי של פונקציה הם מקבלים ערכים בין 0 ל-0.999 $(0 \leq RN = 0.999)$ מספרים אלה דומים לערכי פונקצית ההתפלגות הנעים בין 0 ל-1. לכן אם נהפוך את תפקידי המשתנה התלוי והבלתי תלוי נקבל פונקציה דומה לפונקצית ההתפלגות הנתנת לתאור ב- GPSS.

באופן גרפי פונקציה זו תראה כך:



הפונקציה תתואר באופן הבא:

3 FUNCTION RN1, D4
.20 1 / .60 2 / .90 3 / 1.00 4

זוהי פונקציה מס. 3 שהמשתנה הבלתי תלוי שלה הוא מספר אקראי RN1 בעלת 4 זוגות ערכים.
משמעות השמוש בפונקציה כזו במשתנה אקראי: היות ולכל מספר אקראי בתחום (999. ÷ 0) הסתברות שוה, הרי שיש לנו הסתברות של 20% לייצר מספרים אקראים בתחום 20. ÷ 0, ז.א. לקבל משתנה תלוי בעל ערך 1, הסתברות של 40% לקבל משתנים בתחום 60. ÷ 21. ז.א. לקבל משתנה תלוי בעל ערך 2, וכו׳ - וזה בדיוק הדבר הדרוש לנו.

השמוש בפונקציה לדוגמת חלקי חילוף תהיה באופן הבא:

ASSIGN P8, FN3

ז.א. הכנס לפרמטר 8 ערך בין 1 ל-4 עלפי פונקציה מס. 3.

הפונקציה הנ"ל עוסקת בערכים בדידיים ולכן הפרמטר השני בהגדרת הפונקציה מכיל את האות D. ישנם מקרים בהם דרושה לנו פונקציה רציפה.

לדוגמה: לקוחות בסופרמרקט שוהים ליד קופה לפי ההתפלגות הבאה:

10% - שוהים עד 3 דקות

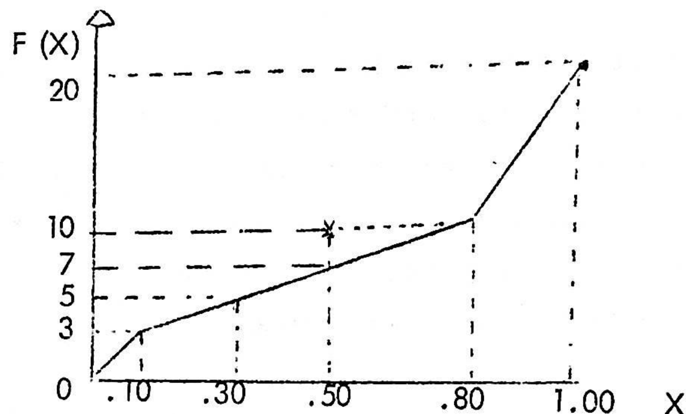
20% - שוהים 5 - 3 דקות

50% - שוהים 10 - 5 דקות

20% - שוהים 20 - 10 דקות

במקרה זה יש משמעות לכל ערך זמן בין 0-20 דקות.

תאור גרפי של הפונקציה:



הגדרת הפונקציה:

```
2    FUNCTION    RN1,C5
0   0/ .10    3/.30  5/.80   10/1.00  20
```

C 5 - מציין שהפונקציה רציפה, בעלת 5 זוגות ערכים.

בפונקציה רציפה נקבל גם ערכי ביניים שלא צויינו בהגדרת הפונקציה. ערכים אלה מחושבים ע"י אינטרפולציה לינארית. בפונקציה הרציפה הנ"ל המספר האקראי 0.50 יתן משתנה תלוי של 7; ולו הוגדרה הפונקציה כבדידה היה המשתנה התלוי 10.

חשוב לציין שתכנית GPSS אינה מקצצת את השברים שבערכי הפונקציה כי הם נשמרים בשיטת הנקודה הצפה. אולם, כאשר אנו דורשים ערך כלשהוא לחשובים, נלקח רק החלק השלם של המספר, כיון שזו שיטת העבודה של תכנית הדמוי.

אפשר לתאר פונקציות מסוגים שונים, מורכבים יותר מהדוגמאות שנתנו כאן. (ראה בפרק המתאים ב- User's Manual).

כאשר נתון לוח זמנים של מופע מסויים, למשל לוח רכבות, אפשר לתאר אותו בעזרת פונקציה בדידה בצורה הבאה:

```
TABLE      FUNCTION     C1,D5
1 350      350  210     560  300  860  275  1135  310
```

הפונקציה ששמה TABLE מוגדרת בפונקציה בדידה בעלת 5 זוגות ערכים. המשתנה הבלתי תלוי הוא מצב השעון של תכנית GPSS, והמשתנה התלוי הוא הזמן החולף בין מופע אחד למשנהו.
כאשר נפנה אל הפונקציה, יושוה הערך של ~~המשתנה הבלתי תלוי של~~ השעון של תכנית הדמוי, /הפונקציה תקבל את הערך המקביל. ~~רק כאשר~~
~~יהיה שווה לערכים [illegible]~~

לדוגמה: GENERATE 1,FN$TABLE
יש ליצר תנועות במערכת, כאשר הזמן הבינמופעי הוא המספר 1 כפול ערכה של הפונקציה. התנועות תווצרנה בזמני השעון 1, 350, 560, 860, 1135.
בהקשר לדוגמה זו אפשר להעלות דוגמה נוספת לשמוש בשעון עבור המשתנה הבלתי תלוי:

```
ITEMS     FUNCTION     C1,D5
1   38/  350   50/  560   40/  860   45  /  1135   45
```

פונקציה זו מציגה את מספר המזוודות אשר היו בקרון מסויים בכל אחת מהרכבות אשר יצאו מהתחנה.
השמוש בפונקציה זו יהיה בצורה הבאה:

```
ASSIGN    3,FN$ITEMS
```

כלומר, העבר לפרמטר 3 של התנועה (הרכבת) את ערכו של המשתנה התלוי (מספר המזוודות) בהתאם לערכו של המשתנה הבלתי תלוי (במקרה זה מצב השעון).

שתי ההוראות הנ"ל יכולות להיות צמודות כך:

```
GENERATE    1,FNØTABLE
ASSIGN      3,FNØITEMS
```

משמעותן: יצירת תנועות במרווחי זמן לפי הפונקציה TABLE , והצבת ערך הפונקציה ITEMS לפרמטר 3, של כל תנועה. בשני המקרים יוצבו הערכים של הפונקציות בהתאם לאותו משתנה הבלתי תלוי - השעון.
השעון אינו מתקדם במעבר התנועה מהבלוק הראשון לשני כי שני הבלוקים פועלים ב"זמן אפס".

תאור זמן בינמופעי בעזרתה של פונקציה רציפה יעשה בצורה הבאה:
באפליקציות רבות אפשר להגדיר את מופע התנועות במערכת בעזרת פלוג פואסון (Poisson Distribution). כדי שיתמלא התנאי של פלוג פואסון צריכים לקיים שלושה תנאים: אין תלות בין המופעים, אין מופע מקובץ של תנועות אחדות, התהליך יציב.
חשוב הזמן הבינמופעי עבור תהליך פואסון יעשה כך:
נניח 130 מופעים במשך 200 דקות. יהיו לנו 0.65 מופעים לדקה(K)
הזמן הבינמופעי הממוצע יוגדר כ- $\mu = 1/K$, ובמקרה זה ערכו הוא 1.54.

ההסתברות לזמן בינמופעי של דקה אחת הוא 0.65. ההסתברות לזמן בינמופעי גדול יותר הולכת ופוחתת, ועקומת ההסתברות נעשית אקספוננציאלית.
כדי להקל על השמוש בפונקצית הפלוג האקספוננציאלי לתאור זמן בינמופעי כלשהוא, הוכנה פונקציה סטנדרטית. הפונקציה הסטנדרטית מיוחדת בכך שהממוצע שלה הוא 1. כתוצאה מכך אפשר לנצל את ערכיה לשם כפל בממוצע כלשהוא, בהתאם לנתוני הבעיה.

התאור הסטנדרטי של הפלוג האקספוננציאלי ניתן בשרטוט:
דוגמה לשמוש של הפונקציה:

```
GENERATE    5,FNSEXP
```

Exponential Distribution

2	8	19
1	FUNCTION	RN1, C24

1	7	13	19	25	31	37	43	49	55	61	67
.0	.0	.1	.104	.2	.222	.3	.355	.4	.509	.5	.69
.6	.915	.7	1.2	.75	1.38	.8	1.6	.84	1.83	.88	2.12
.9	2.3	.92	2.52	.94	2.81	.95	2.99	.96	3.2	.97	3.5
.98	3.9	.99	4.6	.995	5.3	.998	6.2	.999	7	.9998	8

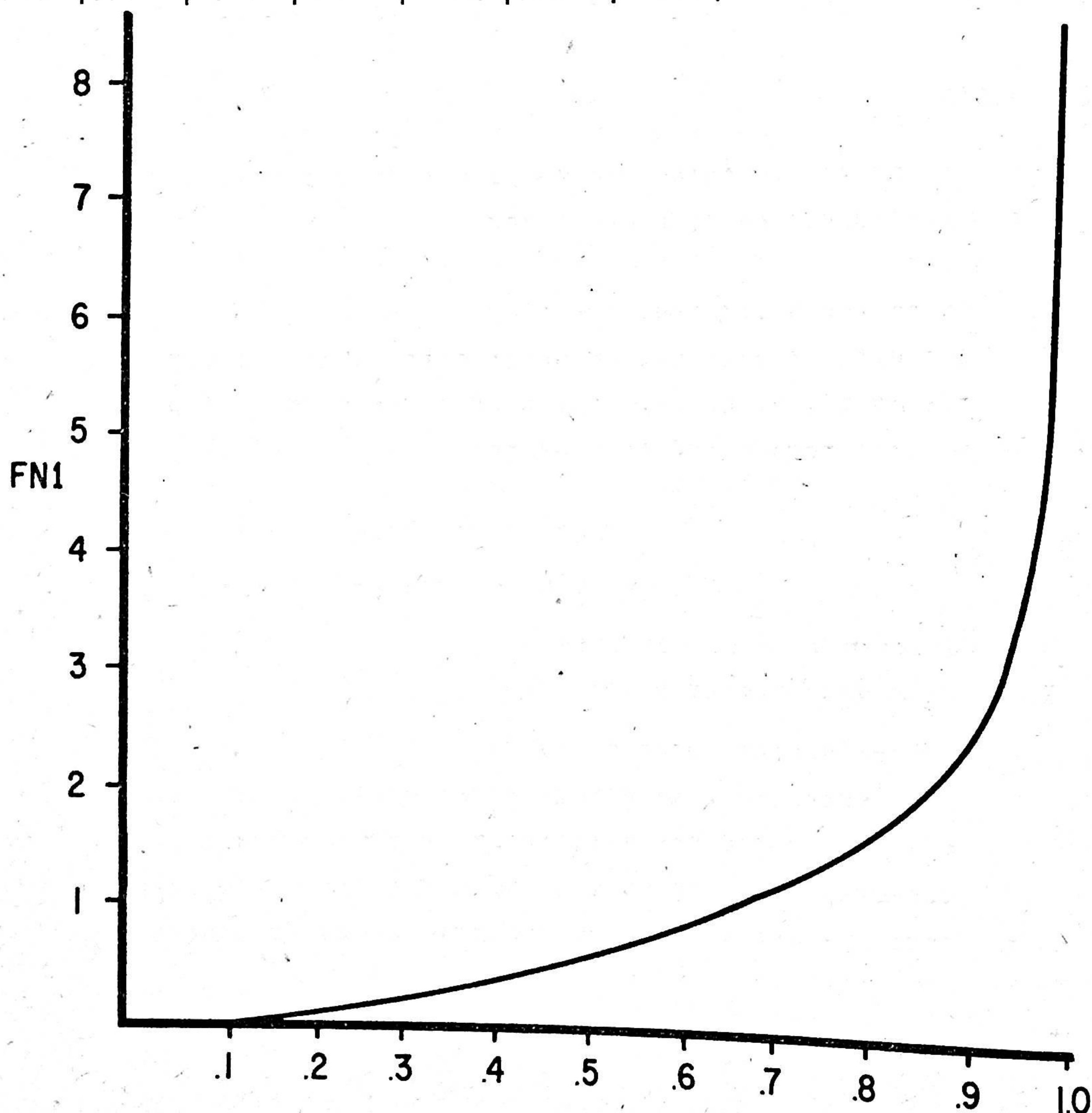


TABLE ARGUMENT RN1

ממוצע הזמן הבינמופעי הוא 5 יחידות זמן. בפונקציה הסטנדרטית הממוצע הוא 1 ולכן הזמן הבינמופעי למעשה יהיה הכפולה של ערך הפונקציה בערך הממוצע. ערכי הפונקציה יבחרו באקראי בעזרת המשתנה הבלתי תלוי RNx (כאשר x הוא המספר של אחד מ-8 יוצרי המספרים האקראיים).

ADVANCE 2,FNØEXP

זמן השהיה של תנועה בבלוק זה יהיה 2 יחידות זמן בממוצע. הזמן למעשה יהיה כפולה של ערך הפונקציה בערך הממוצע.

<u>פונקציות אחרות</u>

פרט לשני הסוגים של הפונקציות אשר ניתנו לעיל קיימים שלושה סוגים נוספים שעל תאורן נעמוד בקצרה:

1. רשימת ערכים מספריים.

בפונקציה זו ערכי המשתנה הבלתי תלוי הם מספרים טבעיים עוקבים (1, 2, 3...), ולכן בהגדרת הפונקציה כוללים רק את ערכי המשתנה התלוי. לדוגמה:

5 FUNCTION RN2,L4

(-, 27) (-, 12) (-, 31) (-, 18)

לפונקציה זו אין ערכי ביניים.

2. הצגת ערכי הפונקציה ע"י SNA.

(השיטה הבדידה ושיטת הרשימה).

אפשר להציג את ערכי המשתנה הבלתי תלוי בהתיחסות ל- SNA כלשהוא. ההבדל בין פונקציה בדידה לרשימה הוא בכך, שבראשונה יש לציין את ערכי המשתנה הבלתי תלוי; בעוד שבשניה - אין צורך כי מניחים מספרים טבעיים עוקבים.

__לדוגמה:__

ערכים בדידים

```
2        FUNCTION       P8,E3
(1, FN)   (9, FN4)    (12, N15)
```

ערכי הפונקציה 2 יהיו:

עבור $x \leq 1$ - ערך של הפונקציה FN1 אשר יבחר בהתאם לתכונותיה

$1 < x \leq 9$ " " " FN4 " " " "

$9 < x \leq 12$ מספר התנועות שעברו עד עתה בבלוק מס.15

```
12       FUNCTION      P2, M4
(-, TEC1)  (-, TEC2)  (-, TEC3   )   (-,CHK)
         SEIZE      FN12
```

בהנחה שערכי הפונקציה מייצגים מתקנים, תפישת המתקן תהיה בהתאם לערך המספרי (4,3,2,1) אשר יהיה בפרמטר 2 של התנועה

```
TRANSFER        ,FN12
```

בהנחה שערכי הפונקציה מייצגים כתובות בתכנית, יתאר בלוק זה סיעוף אל הכתובות המהוות את ערכי הפונקציה, בהתאם למספר אשר יהיה בפרמטר 2 של התנועה.

על תורת התורים / ג'. מרדוך *

במבט ראשון נראה שלבית-חרושת ולנמל-תעופה יש מעט מאד משותף. ברם, בשני המקרים קיימים מצבים שאפשר לתארם ולנתחם באמצעות טכניקה של חקר-ביצועים הידועה כתורת התורים. ואמנם אפשר ליישם את התיאוריה של התור — הנקראת לעתים גם תיאוריה של הגודש — בתחומים רבים ושונים של חיי יום-יום, כמו בבנק, בתחנת דלק וכדומה.

ככל הטכניקות של חקר-ביצועים כך גם מטרתה של תורת התורים היא לתת בידי המשתמש בה אמצעים לבדיקת מצב מסויים ולהשיג נתונים כמותיים שאפשר לבסס עליהם החלטות לגבי העתיד. כדוגמה נקח בית-חרושת, בו הראה סקר ייצור, כי שיעור הזמן הפרודוקטיבי נע בין 25% ל-70%. אחרי שנבכה את זמן העיכובים הנובעים מגורמים אנושיים, נמצא כי זמן העיכוב מורכב ברובו מגורמים כמו המתנה למנוף לביקורת, למכשירים, וכיו"ב. פירושו של דבר כי מיתקני השירותים הם הגורמים העיקריים לעיכוב. במצב כזה יש לקבוע אם העיכובים שנתגלו הם המינימליים ההכרחיים במיתקנים הקיימים, ומה תהיה השפעתם של מיתקנים נוספים, אם יוכנסו לשימוש, כמו מנוף אחר או מפקחים נוספים. יש לשקול את ההוצאה הקשורה בהכנסת מיתקני שירות טובים יותר כנגד התפוקה המוגדלת שהם מאפשרים. אם ברצוננו לנהל את התעשיה בצורה יעילה, מן ההכרח למצוא פתרון אובייקטיבי לבעיות אלה. תורת התורים יכולה לספק פתרון כזה.

אפשר לחלק כל מפעל יצרני לשתי גזרות: יחידות הייצור ויחידות השירותים. בדוגמה שצוטטה לעיל, המכונות הן כמובן יחידות הייצור, והמפקחים, המנופים, אמצעי התובלה וכו' — אלה יחידות השירותים. ואולם יש לציין; שכאשר מפעיל משרת מכונה אחת בלבד הוא נחשב חלק מיחידת ייצור, אך אם הוא משרת יותר ממכונה אחת — יש לראותו כיחידת שירות. בכל הנוגע לסוג הראשון, הרי שהתיאוריות הידועות של הנדסת ייצור נותנות את המספרים והסוגים של המכונות, שיטות הזנתן והמהירויות, הנדרשות כדי להגיע לתפוקה רצויה. תפקידה של תורת התורים הוא לקבוע בצורה אובייקטיבית את מיתקני השירות הדרושים, כדי שיחידת הייצור תוכל לפעול ברמתה האופטימלית.

דוגמה אחרת, שלא בתחום התעשיה, הוא תכנון נמל-התעופה של לונדון; בו השתמשו

* מתוך חוברת נתיבי ארגון ומנהל 1968/1.

בקנה־מידה גדול בתיאוריה של הגודש. בדוגמה זו, המטוסים המגיעים לנמל־התעופה הם יחידות הייצור או הלקוחות, בעוד שמסלולי ההמראה, נתיבי הפינוי, עגלות המשא וכו׳, מהווים את יחידות השירות. הבעיה כאן דומה לזו של בית־תרושת — במובן זה, שצריך לדעת מה המספר הדרוש של מסלולי המראה, נתיבי פינוי וכו׳, כדי לטפל בנפח נתון של תחבורה ותובלה באופן שעיכוב המטוסים המצפים לנחיתה לא יעבור גבול מסויים.

בגלל העובדה ששיעור גבוה של הון ושל כוח־עבודה מושקע במיתקנים המשמשים שירות לקו הייצור, הרי שתחום השימוש בתורת התורים הוא רחב מאד, וכתוצאה מכך באים חסכונות נכבדים. בעקבות השינויים הרבים שחלו בתעשיה בשנים האחרונות, אפשר מאד שקו הייצור מאורגן בצורה אופטימלית. אך אם מיתקני השירותים אינם מניחים את הדעת, המערכת בכללותה אינה כשירה לפעולה ברמה היעילה ביותר.

מצבי תור שונים

נוסף לדוגמאות שהובאו לעיל, עשויים להיווצר תנאי תור במצבים רבים ובמציאות שונה. אפשרויות חשובות אחדות ניתנות בלוח שלהלן:

לוח א: מצבים אופיניים ליישום תורת התורים

מצב	כניסה לתור	התור	מנגנון השירות
חנות, משרד נסיעות, דואר, בנק	לקוחות או קונים המצפים לשירות	המתנה לאשנב שיתפנה	מוכר, קופאי וכו׳
תחנת אוטובוסים, תור למוניות	זרימת קהל נוסעים	תור של נוסעים ממתינים לאוטובוס או למונית	כניסת האוטובוס, המונית וכו׳
חדר־המתנה לרופא או לבית־חולים	חולים מגיעים לטיפול	חולים ממתינים לתורם	טיפול על־ידי הרופא
נמל־תעופה	מטוסים מגיעים לנחיתה	מטוסים חגים וממתינים למסלול נחיתה	מטוסים נוחתים במסלול
מחסן מיצרכים	צרורות מיצרכים מובאים מן הספק	מיצרכים מאוחסנים במחסן	שימוש או מכירה של מיצרכים מן המחסן
מרכזיית טלפונים	לקוחות מרימים שפופרת ומחייגים	לקוחות ממתינים לתגובת הטלפנית	קישור ע״י טלפנית או רשת אוטומטית
מחלקת מיכרזים	מגיעות הצעות חוזים למיכרז	הצעות חוזים ממתינות לתשובה	תשובת המעריך והוצאת הזמנה
תכנון נמלים	אניות מגיעות לנמל לפריקה ולטעינה	אניות ממתינות למעגן	אניות נפרקות ונטענות
מפעילים־שוליות בבית־חרושת	מכונות מתקלקלות	מכונות ומפעילים ממתינים לתיקון ע״י מומחה	תיקון המכונה ע״י מומחה

דוגמה אופינית של היווצרות תור היא חנות, בה מצפים הלקוחות לשירות מצד המוכרים. אם כל המוכרים עסוקים שעה שנכנס לקוח חדש, הלה נאלץ להמתין, ובכך הוא יוצר תחילתו של תור. בדוננו על התורים, נכנה את הלקוח בשם "היחידה הנכנסת", כלומר נכנסת למצב בו עשוי להיווצר תור. אין הכרח שהתורים ילבשו צורה של לקוחות המסתדרים בשורה; כל מה שדרוש לנו כדי להגדיר לקוח העומד בתור, היא העובדה שהלקוח הבהיר את ציפייתו לקבל שירות ושהשירות זה אינו מוכן. במונח "שירות" אנו מתכוונים לכל פעולה, הדרושה כדי שהלקוח יעזוב את החנות או את האשנב או כל מצב שבו נוצר התור. קיימים איפוא שלושה יסודות חיוניים במצב של תור: ראשית, תהליך הכניסה — האופן בו מגיעים הלקוחות; שנית, משמעת התור — האופן בו ממתינים הלקוחות לשירות, לאחר כניסתם; שלישית, מנגנון השירות — האופן בו מקבלים הלקוחות את השירות, או הדרך בה מתפזר התור.

התרשימים המצורפים (לוח ב ולוח ג) מתארים מצבי תור בהם מגיעים הלקוחות לאשנב אחד או יותר וממתינים לשירות, כאשר הפקידים עסוקים. אם נפתח את התיאוריה, יהיה ברור שהתרשימים יכולים לייצג גם מצבים בהם לא קיים כלל תור פיזי, כמו, למשל, מכונות הממתינות לשירותו של מנוף, או אנשים הממתינים על קווי טלפון שונים לחיבור על-ידי הטלפנית.

אם־כי כל מצבי התור זהים מבחינה בסיסית, הרי במציאות יכולים להיווצר אינסוף מצבים שונים. שלושת היסודות הבסיסיים של בעיית התור, כפי שצויינו לעיל, כוללים מספר גדול של וריאציות אפשריות הנותנות מקום למספר גדול של מצבי תור שונים. רשימה של וריאציות אפשריות ניתנת בלוח ד (ראה עמוד 14), אך היא אינה ממצה.

כפי שראינו, בעיות תור נוצרות מפעילות כלשהי, בה נוצרות דרישות לשירות ממקורות רבים, הפועלים פחות או יותר באופן בלתי־תלוי זה מזה. במצבים בהם ניתן לשבץ בדייקנות את זמני הכניסה של לקוחות או את התביעות לשירות, קל יחסית לספק את מיתקני השירות הדרושים. אך זהו מצב פשוט בהשוואה עם רוב המצבים במציאות.

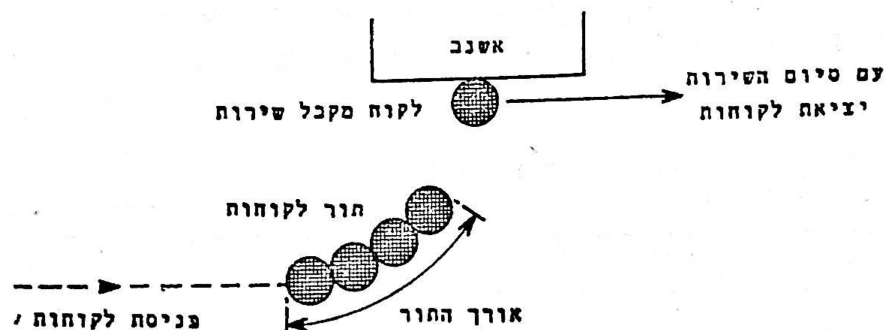
מודלים מתמטיים

מתברר כי אפשר להרכיב מודלים מתמטיים לתיאור מצבי תור המאופינים על־ידי צורות שונות של שלושת היסודות הבסיסיים. בעזרת מודלים אלה ניתן להראות מה אפשר להשיג באמצעות מערכת שירות מסויימת, וכן אפשר להשוות שתי מערכות או יותר. ברור שככל שהמצב מורכב יותר, כך פחות סבירה האפשרות להגיע לידי פתרון משביע־רצון בדרך של עבודה לבלרית. ברם, אפשר להיעזר במחשב בהפעלת מודל, וכך להשיג נתונים שעליהם ניתן לבסס החלטות. כדי להחליט מהי השיטה "הטובה ביותר" דרושים "מדדים של יעילות". השימוש בממוצעים מהווה אפשרות אחת, אך קיימת סכנה גדולה של טעות רצינית כאשר לגבי מצבי תור משתמשים בהם בלבד. שני מדדי יעילות הופעלו בהצלחה: ההסתברות כי n לקוחות ימתינו בזמן t, כאשר ניתן המצב ההתחלתי של המערכת; והמדד השני — התפלגות זמן ההמתנה של לקוחות. במקרה של המדד הראשון ניתן לקבוע, למשל, את היקף התור שיעבור על המידה בחמישה אחוזים, או באחוז אחד של הזמן. דבר זה יכול להיות

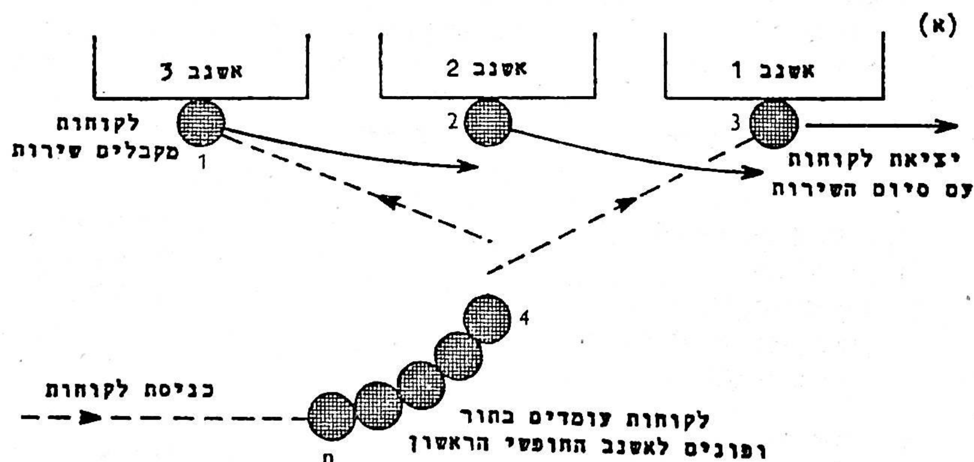
לתועלת, כדי להחליט, למשל, כמה שטח המתנה יש להכין לנקודת שירות אלטרנטיבית אליה יכולים לפנות הלקוחות, על־מנת שרק לעתים רחוקות ייווצר תור ארוך. באופן אלטרנטיבי, אם ידוע לנו שטח ההמתנה, אפשר לקבוע את מיתקני השירות הדרושים, כך ששטח ההמתנה יספיק במשך מרבית הזמן.

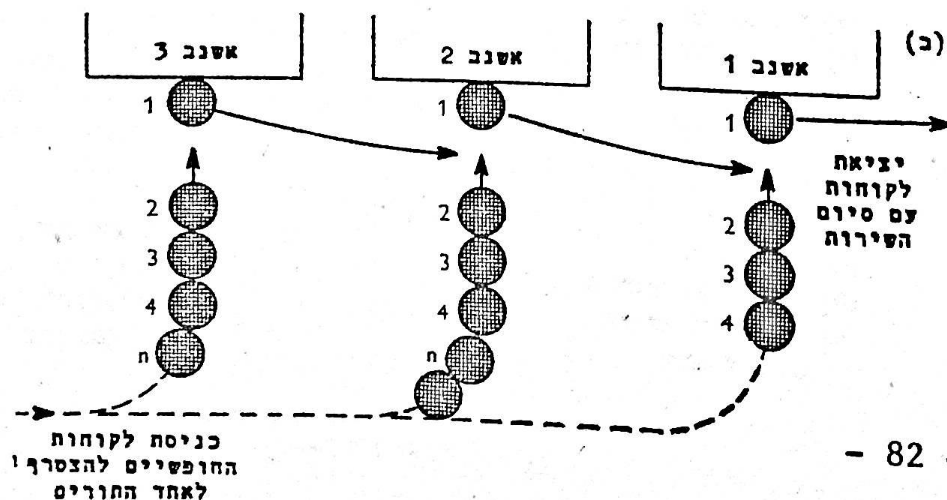
מדד היעילות השני — התפלגות זמן ההמתנה — מאפשר את חישוב זמן ההמתנה הממוצע של לקוח ואת היחס של לקוחות הנאלצים להמתין למעלה מזמן מסויים T. אם הסתברות ההמתנה למעלה מ־T היא גבוהה, עלול הדבר לגרום לכך שלקוחות

לוח ב: מצב של תור אחד



לוח ג: שני מצבים של שלושה תורים, כשבכל מצב נהוגה משמעות תור שונה





יעדיפו לא להצטרף לתור, דבר שעלול לגרור אחריו הפסד פוטנציאלי לעסק, כמו בתחנת דלק או בסופרמרקט. יתכן שההוצאות להכנת מיתקני שירות נוספים או מהירים יותר יקוזזו — או אף יותר מזאת — על־ידי הפעילות העיסקית הנוספת המתאפשרת מהפחתת זמן ההמתנה של הלקוחות. במקרה של מחסנים בבית־חרושת, למשל, יתכן מאד שהעסקתו של מחסנאי נוסף תכניס רווחים יפים, כי הדבר עשוי להפחית זמן ייצור אבוד של עובדים מקצועיים, הנאלצים עתה להמתין זמן רב לשירותי המחסן.

מדדי היעילות משמשים לרוב כדי לקבוע, על בסיס תמחירי, אם כדאי להחיש את שיעור השירות הנוכחי של כל מסלול, או אם לספק מסלולים מיוחדים העובדים בשיעור דומה לאלה הקיימים, או שמא אף יש מקום לשקול הקטנתם של מיתקני השירות.

לוח ד: מצבי תור, סוגי שוני הבעיות

תהליך כניסה	משמעת התור	מנגנון השירות
יכול להיות שונה ב־	יכול להיות שונה ב־	יכול להיות שונה ב־
1. מספר הלקוחות הפוטנ־ציאליים (א) סופי (ב) אינסופי	1. מספר התורים (א) תור אחד (ב) תורים אחדים	1. מספר נקודות שירות (א) אחת (ב) אחדות (ג) מספר משתנה
2. מספר הנכנסים באותו זמן (א) בודד (ב) בקבוצות מגודל קבוע (ג) בקבוצות מגודל משתנה	2. משמעת התור (א) שירות לפי סדר הכניסה (ב) בצורה מקרית (ג) עדיפויות מסויימות (ד) שירות בסדר הפוך לתור (תור בלתי־הוגן)	2. מספר מקבלי שירות (א) אחד־אחד (ב) בקבוצות בגודל קבוע (ג) בקבוצות בגודל משתנה
3. הפסקות בין כניסות (א) קבועה (ב) מקרית לגמרי (ג) התפלגויות אחרות של כניסות		3. שירות שניתן להשיג (א) בקביעות (ב) לסירוגין
4. שיעור ממוצע של כניסות (א) קבוע (ב) משתנה עם הזמן (ג) מושפע ממצב התור		4. משך השירות (א) קבוע (ב) סיכוי גבוה של זמן קצר וסיכוי נמוך של זמן ארוך (ג) התפלגויות אחרות (ד) תלוי במשך שהותו של הלקוח בתור
5. השפעה חיצונית (א) אין השפעה חיצונית (ב) כניסה היא תוצאה של מצב קודם		5. שיעור ממוצע של שירות (א) קבוע (ב) משתנה עם הזמן או עם מצב התור

הפתרון לבעיות התור נדון בדרך־כלל בשני שלבים: א. פתרון למצב חולף; ב. פתרון למצב של קבע. אם נניח שמסלול השירות מסוגל לשרת בשיעור ממוצע מהיר יותר מאשר קצב כניסתם של הלקוחות, כלומר $\rho = \frac{\lambda}{\mu} < 1$ (כאשר ρ = עוצמת התנועה של המערכת, λ = שיעור הכניסה הממוצע של לקוחות ביחידת זמן, ו־μ = שיעור השירות הממוצע של לקוחות ביחידת זמן), הרי מושג המצב היציב כשהתור מתנהל באופן בלתי־תלוי מן המצב ההתחלתי של המערכת, וההסתברות לקבל n ממתינים בתור נשארת קבועה. מצב זה קיים, פחות או יותר, בבית־חרושת, בו הדרישות לשירותו של מנוף שלא סופקו עד סוף היום, מועברות לתור ליום הבא (מתוך הנחה שהמנוף פועל רק בשעות העבודה הרגילות ואינו מטפל בפיגורים במשך הלילה). במצבי תור אחרים, בהם עוצמת התנועה של המערכת קטנה מ־1, משיגים במהרה את המצב היציב ופתרונן של בעיות התור מתבסס בדרך־כלל רק על מצב זה.
מצד שני, בבנק למשל, מתחילה המערכת מדי יום בעבודתה בלי אנשים בתור, והסיכוי למצוא, נאמר שישה אנשים בתור, תלוי בזמן שבו נעשתה התצפית. אם נניח שמספר שווה של קופאים נמצאים תמיד בתפקיד ושהלקוחות מגיעים בשיעור ממוצע קבוע במשך היום, הרי שהסיכוי למצוא שישה אנשים בתור מיד לאחר פתיחת הבנק הוא קטן מאד. ברם, במרוצת היום מגיע התור למצב של יציבות ובסופו של דבר הוא נע סביב גודל ממוצע קבוע. ההסתברות למצוא אז שישה אנשים בתור גבוהה יותר מאשר בתחילת יום העבודה.

במצבים ממשיים מסויימים יש צורך לקחת בחשבון רק את התור היציב, באחרים יש להביא בחשבון גם את התור החולף וגם את היציב, בעוד שבאחרים שימושי רק הפתרון לתור החולף, מאחר שהוא אף פעם אינו יציב. מצב זה קורה בדרך־כלל אם שיעור הכניסה גבוה משיעור השירות ($\lambda > \mu$) והוא מתאים למספר מקרים בהם אין המערכת פעילה מספיק זמן לפני שהיא חוזרת למצב ההתחלתי, לרוב כאשר אין כלל לקוחות במערכת. התכונות האופיניות העיקריות של חמישה מתוך המצבים היציבים הפשוטים יותר של תורים ניתנות בלוח ה (ראה עמוד 16).

התנאים של תורים פשוטים, המתוארים בלוח ה, מתאימים למצבי תור רבים בחיי יום־יום. מצבים מורכבים יותר, כמו אלה הנוצרים כאשר התפלגות הכניסות היא ידועה אך אינה מקרית (לפי שיטת Poisson), ובהם התפלגות זמן השירות אינה לפי הערכה קבועה אך ניתנת להשערה בקירוב על־ידי התפלגות מתאימה — מצבים כאלה ניתנים לתיאור ולפתרון מתמטיים.

ברם, קיימים מצבים מסובכים במיוחד שאינם נוחים לפתרון אנליטי ובהם הטכניקה בשיטת הסימולציה של מונטה־קרלו היא בעלת ערך רב לבדיקת תכונותיו של התור. לעתים קרובות אפשר לעשות במשך שעות מספר סימולציה ידנית של שנות פעילות רבות, או לעשות זאת באמצעות מחשב משך דקות ספורות, כך שניתן לחשב את מדדי היעילות המתאימים ולהשתמש בהם בשביל הפתרון האופטימלי. נוהגים גם להשתמש בסימולציה כדי לבדוק תוצאות שהושגו בדרך אנליטית, כדי להבטיח שהתוצאות הצפויות הן גם הקיימות למעשה. עקרונית, כל מה שנדרש כדי לעשות סימולציה של תור הוא: התפלגות זמנים של כניסות, התפלגות של מועד שירות (אפשר לחשבה באופן מתמטי, או שהיא מושגת לעתים קרובות מתוך מידגם של

תצפיות במערכת קיימת), משמעת התור וסידרה של מספרים מקריים. על־ידי השימוש במספרים מקריים לבחירת מועדים לכניסת לקוחות וכדי להעיד לכל לקוח מועד שירות (בצירוף התפלגויות הכניסות ומועדי השירות ובהתאם למשמעת התור), אפשר לבחון את התנהגות התור ולקבוע גורמים שונים, כמו הזמן בו התור הוא בגודל נתון, והתפלגות זמני ההמתנה של לקוחות.

קיימים היום פתרונות רבים לתחום רחב של מצבי תור מורכבים ומסובכים ואפשר למוצאם בספרי הלימוד המקצועיים לחקר־ביצועים.

לוח ה: מצבי תור יציבים

מסלול יחיד, תור אינסופי

1. כניסה מקרית של לקוחות בשיעור ממוצע של λ ביחידת זמן.
2. נקודת שירות אחת המשרתת את הלקוחות לפי סדר כניסתם וכל הלקוחות מצטרפים לתור.
3. התפלגות זמני שירות לפי סיכוי גבוה של טיפול קצר וסיכוי נמוך של טיפול ארוך; זמן השירות הממוצע לכל הלקוחות הוא $1/\mu$, כלומר המשרת יכול להתפנות ללקוחות בשיעור ממוצע של μ ליחידת זמן, המספר הממשי מתפלג בצורה מקרית (לפי שיטת Poisson).

מסלול יחיד, תור סופי

1. כניסה מקרית של לקוחות בשיעור של λ ביחידת זמן.
2. נקודת שירות אחת, המשרתת את הלקוחות לפי סדר הצטרפותם לתור. ברם, פה מספר הלקוחות המירבי במערכת הוא N, כלומר: לקוחות הנכנסים כשיש N לקוחות במערכת אינם מצטרפים לתור, כי אם פונים לשירות במקום אחר.
3. התפלגות זמני שירות לפי סיכוי גבוה של טיפול קצר וסיכוי נמוך של טיפול ארוך; זמן השירות הממוצע ללקוחות הוא $1/\mu$ כמקודם.

תור של מסלול יחיד — התפלגות כלשהי של זמני שירות

1. כניסה מקרית של לקוחות בשיעור ממוצע של λ ביחידת זמן.
2. נקודת שירות אחת המשרתת את הלקוחות לפי סדר כניסתם וכל הלקוחות מצטרפים לתור.
3. התפלגות כלשהי של זמני שירות, עם ממוצע של $1/\mu$ ושונות σ^2/s של התפלגות זמן השירות.

תור של מסלול יחיד — זמן שירות קבוע

1. כניסה מקרית של לקוחות בשיעור ממוצע של λ ביחידת זמן.
2. נקודת שירות אחת המשרתת את הלקוחות לפי סדר כניסתם וכל הלקוחות מצטרפים לתור.
3. זמן שירות קבוע $= 1/\mu$ בשביל כל הלקוחות.

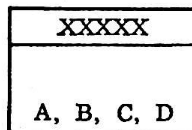
תור של מסלולים אחדים

1. מספר נקודות שירות.
2. כניסה מקרית של לקוחות בשיעור ממוצע של λ ביחידת זמן.
3. כל הלקוחות מצטרפים לתור אחד, פונים לאשנב השירות הפנוי הראשון ומקבלים שירות לפי סדר כניסתם (ראה לוח ג, עמוד 13).
4. התפלגות זמני שירות לפי סיכוי גבוה של טיפול קצר וסיכוי נמוך של טיפול ארוך; זמן השירות הממוצע ללקוחות הוא $1/\mu$ בכל אשנב.

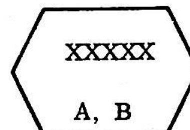
APPENDIX : GPSS/360 BLOCK FORMATS AND SYMBOLS

The following pages describe the format of the block types used in GPSS/360 and their corresponding block symbols. Reference is given to the page on which the operation of each block type is discussed. Block types with no reference in this manual are explained in the GPSS/360 User's Manual.

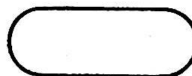
If the user wishes a more convenient and less time-consuming method of developing block diagrams, use of the five basic blocks shown below is suggested. Below each block symbol appears a list of the block types, found on the following pages, which each symbol represents.



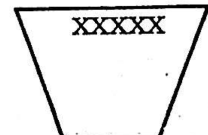
ADVANCE
ASSEMBLE
BUFFER
COUNT
DEPART
ENTER
EXECUTE
GATHER
JOIN
LEAVE
LINK
LOGIC
MATCH
PREEMPT
QUEUE
RELEASE
REMOVE
RETURN
SEIZE
SELECT
SPLIT
TABULATE
UNLINK



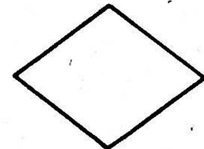
ALTER
ASSIGN
INDEX
LOOP
MARK
PRIORITY
SAVEVALUE



GENERATE
TERMINATE



PRINT
TRACE
UNTRACE
WRITE



EXAMINE
GATE
SCAN
TEST
TRANSFER

OPERATION	A	B	C	D	E	F	PAGE REFERENCE	BLOCK SYMBOL
ADVANCE	mean SNA (*)	spread (*) sprd						A, B
ALTER	group no. SNA (*)	count SNA (*), ALL	attribute Pn, PR, M	argument SNA (*)	attribute Pn, PR, M	argument SNA (*)		B, C, D, E, F A C
		G - field specifies optional next block						
ASSEMBLE	no. to assemble SNA (*) no.							A
ASSIGN	parameter no. SNA (*) [±]	source integer SNA (*) no.	function modifier [SNA (*)]no.					A,B,C
BUFFER								
CHANGE	'from' block no. SNA (*) no.	'to' block no. SNA (*) no.						A B
COUNT 'X'	parameter no. SNA (*)	lower limit SNA (*)	upper limit SNA (*)	match argument [SNA (*)]	SNA mnemonic to be counted			X A,B,C,D,E
DEPART	queue no. SNA (*) no.	units [SNA (*)]no.						B A
ENTER	storage no. SNA (*) no.	units [SNA (*, no.]						B A
EXAMINE	group no. SNA (*)	numeric quantity [SNA (*)]	alternate exit SNA (*)					A B C

** See User's Manual (H20-0326)

OPERATION	A	B	C	D	E	F	PAGE REFERENCE	BLOCK SYMBOL
EXECUTE	block no. SNA (*) no.							A
GATE (X) LS LR	logic sw. no. SNA (*) no.	Next Block If Condition is False [SNA (*)]						X A
GATE (X) NI I NU U	facility no. SNA (*) no.	"						X A
GATE (X) SE SF SNE SNF	storage no. SNA (*) no.	"						X A
GATE (X) M NM	(match) block no. SNA (*) no.	"						X A
GATHER	no. to gather SNA (*) no.							A
GENERATE	mean	modifier or spread	offset	count	priority	parameters (fields F and G)		A,B, C,D,E
	A - F fields may be a constant or FNj, Vj, Xj, or XHj. G field may only be blank, F or H to specify parameter type.							
INDEX	parameter no.	increment no.						A B
JOIN	group no. SNA (*)	numeric quantity [SNA (*)]						A B
LEAVE	storage no. SNA (*) no.	no. of units [SNA (*)]no.						B A
LINK	chain no. SNA (*)	ordering of chain LIFO, FIFO, Pj	alternate block exit SNA (*)					LINK C A B

** See User's Manual (H20-0326)

OPERATION	A	B	C	D	E	F	PAGE REFERENCE	BLOCK SYMBOL
LOGIC (X) S R I	Logic Sw. no. SNA (*) no.							(X) A
LOOP	parameter no. SNA (*) no.	next block B SNA (*) no.						A B
MARK	parameter no. SNA (*) no.							A
MATCH	conjugate block SNA (*) no.							A
MSAVEVALUE	MATRIX no. SNA (*) [±]	row no. SNA (*)	column no. SNA (*)	Value SNA (*)	matrix type [H]			A. B. C, D, E
PREEMPT	Facility no. SNA (*) no.	'PR' (priority mode)	next block for preempted transaction [SNA (*)]	parameter number of preempted transaction SNA (*)	'RE' (remove option)			A
PRINT	lower limit [SNA (*)]	upper limit [SNA (*)]	Entity mnemonic	Paging Indicator				A - B C
PRIORITY	priority SNA (*)	[BUFFER]						A
QUEUE	queue no. SNA (*) no.	units [SNA (*)]no.						A B
RELEASE	Facility no. SNA (*)							A
REMOVE	group no. SNA (*)	count [SNA (*), ALL]	numeric quantity [SNA (*)]	matching attribute [Pn, PR, M]	matching value [SNA (*)]	alternate exit [SNA (*)]		B,C,D,E A F

** See User's Manual (H20-0326)

OPERATION	A	B	C	D.	E	F	PAGE REFERENCE	BLOCK SYMBOL
RETURN	Facility no. SNA (*) no.							A
SAVEVALUE	SAVEVALUE number SNA (*) no. [±]	attribute SNA (*) no.	[H]					A,B
SCAN	Group no. SNA (*)	Transaction attribute Pn, PR	match argument SNA (*)	desired attribute [Pn, PR, M]	param-eter no. [SNA (*)]	alternate exit [SNA (*)]		A,B,C,D,E F
SEIZE	Facility no. SNA (*)							A
SELECT 'X'	param-eter no. SNA (*)	lower limit SNA (*)	upper limit SNA (*)	match argument SNA (*)	SNA mnemonic	alternate exit [SNA (*)]		X F A,B,C,D,E
SPLIT	no. copies SNA (*) no.	next block B SNA (*) no.	param-eter for serial numbering [SNA (*)]	number of param-eters [SNA (*)]				A B
TABULATE	Table no. SNA (*) no.	units [SNA (*) no.]						B A
TEST (X) E NE GE LE G L	ARG 1 SNA (*) no.	ARG 2 SNA (*) no.	next block B [SNA (*) no.]					AXB C
TERMINATE	units [SNA (*) no.]							A
TRANSFER	selection mode	next block A SNA (*) no.	next block B [SNA (*) no.]	[Indexing factor no.]				A

** See User's Manual (H20-0326)

OPERATION	A	B	C	D	E	F	PAGE REFERENCE	BLOCK SYMBOL
TRACE								
UNLINK	User Chain no. SNA (*)	next block A SNA (*)	unlink count SNA (*) [ALL]	param-eter no.[1] [SNA (*)] [BACK]	[match argu-ment]	next block B		
UNTRACE								
WRITE	Job Tape no. JOBTA1 JOBTA2 JOBTA3							

[1]With ALL selection mode direct specification must be used.

** See User's Manual (H20-0326)